



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO  
DIDÁCTICO PARA EL PROCESO DE LLENADO DE  
ENVASES PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL”.**

**PAZMIÑO LÓPEZ LUIS GABRIEL  
YÉPEZ BUENAÑO MARIO MAURICIO**

## **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

## **INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-12-10

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**PAZMIÑO LÓPEZ LUIS GABRIEL**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO  
PARA EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASES PARA LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jhonny Orozco

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Elvis Arguello

ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-12-10

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MARIO MAURICIO YÉPEZ BUENAÑO**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO  
PARA EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASES PARA LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jhonny Orozco

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Elvis Arguello

ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LUIS GABRIEL PAZMIÑO LÓPEZ

**TÍTULO DE LA TESIS:** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASES PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL”.

**Fecha de Examinación:** 2015-02-12

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Jhonny Orozco (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Elvis Arguello (ASESOR DE TESIS)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MARIO MAURICIO YÉPEZ BUENAÑO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASES PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL”.

**Fecha de Examinación:** 2015-02-12

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Jhonny Orozco (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Elvis Arguello (ASESOR DE TESIS)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Santillán Mariño  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Luis Gabriel Pazmiño López

---

f) Mario Mauricio Yépez Buenaño

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo de tesis se lo dedico a mis padres Alfonso y Carmen, a mis hermanos Andrea y Rafael, quienes siempre me aconsejan, apoyan y demuestran que siempre debemos estar unidos en todo momento y sobre todo por el apoyo incondicional.

A mi abuelita Rosa quien siempre me decía que debo ser un profesional pase lo que pase, y quien fue, es y será mi más grande motivación para seguir adelante.

A todos mis familiares y amigos por preocuparse por mí, por sus consejos y su apoyo durante mi vida estudiantil.

**Luis Pazmiño López**

Mi trabajo de tesis se lo dedico a mis padres, a mis hermanos, quienes siempre me aconsejan, apoyan y demuestran que siempre debemos estar unidos en todo momento y sobre todo por el apoyo incondicional.

A mi abuelita quien siempre me decía que debo ser un profesional pase lo que pase, y quien fue, es y será mi más grande motivación para seguir adelante.

A todos mis familiares y amigos por preocuparse por mí, por sus consejos y su apoyo durante mi vida estudiantil.

**Mario Yépez Buenaño**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por iluminar y bendecir mi camino día tras día y por no desampararme en los momentos difíciles.

A mi familia por ser lo más importante en mi vida, por apoyarme y estar presentes cuando más los necesito.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y permitir formarme como profesional, gracias a los docentes de la Escuela de Ingeniería Industrial por compartir sus conocimientos, brindarme su amistad y ayudarme a alcanzar mis metas.

A los Ingenieros Jhonny Orozco y Elvis Arguello ya que con su apoyo y consejos puede desarrollar mi trabajo de tesis con éxito

**Luis Pazmiño López**

A mi familia por ser lo más importante en mi vida, por apoyarme y estar presentes cuando más los necesito.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y permitir formarme como profesional, gracias a los docentes de la Escuela de Ingeniería Industrial por compartir sus conocimientos, brindarme su amistad y ayudarme a alcanzar mis metas.

A los Ingenieros Jhonny Orozco y Elvis Arguello ya que con su apoyo y consejos puede desarrollar mi trabajo de tesis con éxito

**Mario Yépez Buenaño**





# CONTENIDO

Pág.

## 1. INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación. ....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> ....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i> .....	2

## 2. MARCO TEÓRICO

2.1	Procesos de llenado.....	4
2.1.1	<i>Comparación de tecnologías de llenado</i> .....	4
2.2	Los PLC S7-200. Características y funcionamiento.....	6
2.2.1	<i>Módulos de ampliación S7-200.</i> ....	8
2.3	Componentes de hardware y software.....	9
2.3.1	<i>Configuración hardware</i> .....	9
2.3.2	<i>Velocidades significativas</i> .....	10
2.3.3	<i>Eliminar errores de hardware.</i> ....	10
2.3.4	<i>STEP 7-Micro/WIN.</i> .....	11
2.3.5	<i>Utilizar STEP 7 Micro/WIN para programar.</i> .....	12
2.4	Control y monitoreo de datos.....	13
2.4.1	<i>Respaldo de datos en la CPU de un S7-200.</i> ....	13
2.4.2	<i>Señales de entrada y salida.</i> ....	14

## 3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL MÓDULO E INSTALACIÓN DEL PLC S7-200 Y CONEXIONES

3.1	Selección del sistema.....	16
3.1.1	<i>Selección del tipo de llenado.</i> ....	16
3.1.1.1	<i>Análisis para la selección del tipo de llenado:</i> .....	17
3.1.2	<i>Selección del tipo de tapado.</i> ....	17
3.1.2.1	<i>Análisis para la selección del tipo de tapado:</i> .....	18
3.1.3	<i>Sistema seleccionado.</i> .....	18

3.2	Secuencia de trabajo .....	19
3.2.1	<i>Descripción del proceso de llenado de envases.</i> .....	19
3.3	Diseño del circuito electroneumático .....	20
3.4	Diseño del circuito eléctrico .....	21
3.5	Montaje del PLC S7-200 .....	22
3.6	Selección de elementos .....	23
3.6.1	<i>Selección de los cilindros neumáticos.</i> .....	23
3.6.6.1	<i>Cilindro para el proceso de llenado.</i> .....	23
3.6.1.2	<i>Cilindro para la parada de envases.</i> .....	28
3.6.1.3	<i>Cilindro para el proceso de tapado.</i> .....	30
3.6.2	<i>Selección de la banda transportadora.</i> .....	34
3.6.2.1	<i>Ancho de la banda transportadora.</i> .....	35
3.6.2.2	<i>Velocidad de la banda transportadora.</i> .....	35
3.6.3	<i>Selección de los rodillos.</i> .....	35
3.6.4	<i>Selección del motor.</i> .....	36
3.6.4.1	<i>Análisis para la selección del motor.</i> .....	37
3.6.4.2	<i>Características del motor reductor.</i> .....	37
3.6.5	<i>Sistema de transmisión.</i> .....	38
3.6.5.1	<i>Transmisión de movimiento por poleas y bandas.</i> .....	38
3.6.5.2	<i>Transmisión de movimiento por rueda dentada y cadena.</i> .....	39
3.6.5.3	<i>Análisis para la selección del sistema de transmisión</i> .....	40
3.6.6	<i>Selección de la bomba centrífuga.</i> .....	41
3.6.6.1	<i>Tiempo de llenado.</i> .....	42
3.6.7	<i>Selección de electroválvulas.</i> .....	42
3.6.8	<i>Selección de las válvulas de paso.</i> .....	42
3.6.9	<i>Válvula estranguladora de caudal.</i> .....	43
3.6.10	<i>Filtro regulador (FR).</i> .....	43
3.6.11	<i>Selección de sensores.</i> .....	44
3.6.12	<i>Selección de pulsadores.</i> .....	44
3.6.13	<i>Selección de relés.</i> .....	45
3.7	Construcción y montaje del módulo .....	45
3.7.1	<i>Armado de la estructura.</i> .....	45
3.7.2	<i>Montaje de la banda transportadora.</i> .....	46
3.7.3	<i>Montaje del sistema de transmisión.</i> .....	46
3.7.4	<i>Montaje total del módulo.</i> .....	46

3.7.5	<i>Armado de la caja de control.</i>	47
3.7.6	<i>Análisis estático.</i>	48
3.8	Lenguaje de programación.....	48
3.9	Diseño del circuito de control.....	50
3.10	Comunicación entre el PLC y ordenador.....	52

#### **4. MANUAL DE OPERACIÓN, DE MANTENIMIENTO Y GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

4.1	Manual de operación.....	54
4.1.1	<i>Indicaciones generales.</i>	54
4.1.2	<i>Operación de elementos mecánicos.</i>	54
4.1.3	<i>Operación de elementos eléctricos.</i>	55
4.1.4	<i>Operación de elementos Neumáticos.</i>	56
4.1.5	<i>Descripción del proceso.</i>	56
4.2	Plan de mantenimiento.....	57
4.2.1	<i>Justificación.</i>	57
4.2.2	<i>Objetivos</i>	57
4.2.2.1	<i>Objetivo general</i>	57
4.2.2.2	<i>Objetivos específicos.</i>	57
4.2.3	<i>Introducción.</i>	57
4.2.4	<i>Ficha técnica.</i>	58
4.3.5	<i>Frecuencia de mantenimiento.</i>	59
4.3	Guía de laboratorio. ....	61

#### **5. COSTOS**

5.1	Costos directos.....	64
5.2	Costos indirectos.....	66
1.3	Costos totales .....	66

#### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	Conclusiones.....	67
6.2	Recomendaciones. ....	67

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**



## LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Comparación de tecnologías de llenado .....	5
2	Comparativa de las CPU S7-200 .....	7
3	Módulos de ampliación S7-200 .....	8
4	Errores de hardware .....	10
5	Selección del tipo de llenado .....	17
6	Criterios para la selección del tipo de tapado .....	18
7	Anchos de banda .....	35
8	Criterios para la selección del motor .....	37
9	Características del motor reductor .....	38
10	Selección del sistema de transmisión .....	40
11	Referencia para selección de bomba .....	41
12	Requerimientos mínimos para la selección de la bomba .....	41
13	Características de la bomba centrífuga .....	41
14	Parámetros técnicos electroválvulas .....	42
15	Parámetros técnicos válvula estranguladora .....	43
16	Asignación de pines del cable multimaestro .....	53
17	Asignación de entradas y salidas .....	55
18	Ficha técnica .....	58
19	Frecuencia de mantenimiento .....	59
20	Asignación de entradas y salidas .....	62
21	Costos directos .....	64
22	Costos indirectos .....	66
23	Costos totales .....	66

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Llenado a nivel.....	4
2 Llenado volumétrico .....	5
3 Llenado ponderal .....	5
4 PLC S7-200.....	7
5 PLC S7-200 y módulo de ampliación.....	8
6 Partes del PLC S7-200 .....	9
7 STEP 7-Micro/WIN .....	11
8 STEP 7-Micro/WIN .....	13
9 Llenado lineal .....	16
10 Llenado circular .....	16
11 Tapado mediante cilindro neumático.....	17
12 Tapado manual.....	18
13 Sistema lineal.....	18
14 Secuencia de trabajo .....	20
15 Circuito electroneumático.....	21
16 Circuito eléctrico.....	21
17 Rail DIN.....	22
18 Montaje del S7-200.....	22
19 Montaje y conexiones del S7-200.....	23
20 Cilindro de doble efecto.....	23
21 Cilindro para proceso de llenado .....	23
22 Selección de cilindro 1 .....	26
23 Cilindro para parada de envases .....	28
24 Cilindro y matriz para tapado .....	30
25 Selección de cilindro 3.....	32
26 Motor reductor .....	36
27 Motor jaula de ardilla.....	36
28 Transmisión rueda dentada - cadena.....	40
29 Bomba centrífuga.....	42
30 Electroválvula monoestable 5/2.....	42
31 Válvulas de paso .....	43
32 Válvula estranguladora .....	43

33	Filtro regulador .....	43
34	Sensor capacitivo .....	44
35	Pulsador de emergencia .....	44
36	Pulsador ON.....	44
37	Pulsador OFF.....	45
38	Relé encapsulado .....	45
39	Estructura.....	45
40	Montaje banda transportadora .....	46
41	Sistema de transmisión .....	46
42	Módulo ensamblado.....	47
43	Caja de control.....	47
44	Análisis estático .....	48
45	Estructura LADDER.....	48
46	Símbolos básicos LADDER .....	49
47	Temporizador.....	49
48	Circuito LADDER .....	50
49	Red PPI multimaestro .....	53



## SIMBOLOGÍA

$\omega$	Velocidad angular	rad/s
P	Presión	N
F	Fuerza	N
n	Ciclos por minuto	ciclo/min
g	Gravedad	m/s <sup>2</sup>
P	Presión	Pa
V	Consumo de aire	L/min
W	Peso	N
F <sub>t</sub>	Fuerza teórica	N
F <sub>e</sub>	Fuerza efectiva	N
m <sub>t</sub>	Masa total a vencer	kg
d	Diámetro del vástago	mm
p	Presión	Pa
p <sub>atm</sub>	Presión atmosférica	Pa

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

PLC	Controlador lógico programable
LED	Diodo Emisor de Luz
CPU	Unidad central de procesamiento
E/I	Entradas al PLC
S/Q	Salidas del PLC
FR	Filtro regulador o unidad de mantenimiento
Pa	Pascales
L	Litros
N	Newton
in	Pulgadas
Rc	Relación de compresión
NA	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
RTD	Detector de temperatura resistivo
SF	Sistema de falla
RAM	Memoria de acceso aleatorio
PPI	Protocolo maestro-esclavo

## **LISTA DE ANEXOS**

- A Construcción del módulo
- B Diagrama de movimientos de los cilindros
- C Catálogo bomba centrífuga HYUNDAI
- D Check List Para Mantenimiento
- E Planos

## **RESUMEN**

Se realizó la construcción e implementación de un módulo didáctico de llenado de envases para la Escuela de Ingeniería Industrial-ESPOCH, con el fin de desarrollar destrezas, habilidad técnica y mayor conocimiento de la automatización de procesos industriales en los estudiantes.

Mediante un diagrama electroneumático se determinó los elementos mecánicos, neumáticos y eléctricos adecuados para el proceso de llenado de líquido en envases. El módulo está compuesto por sensores capacitivos, válvulas de paso, sistema de transmisión, cilindros neumáticos, banda transportadora (Norma UNE 18025) y un PLC S7-200. El estudio de cargas estáticas nos permitió conocer el valor del peso a soportar por la estructura. Con la ayuda del software STEP 7 Micro/Win se programó correctamente el proceso en el PLC.

La velocidad de la banda transportadora es de 10 cm/s, esta puede ser modificada mediante el sistema de transmisión rueda dentada - cadena según se requiera, la misma es desplazada por un motor reductor que gira a 90 revoluciones por minuto; el sistema de llenado se realizó mediante un bomba centrífuga de caudal 28 L/min, con esto el módulo está apto para ser aplicado en la industria en el mejoramiento de procesos.

Antes de operar el equipo se recomienda revisar el manual de operación y mantenimiento para el correcto funcionamiento del mismo y así poder alargar su vida útil previa inducción por parte de la persona a cargo.

## **ABSTRACT**

Construction and implementation of a didactic module of container filling were carried out at Industrial Engineering school – ESPOCH in order to develop skills, technical abilities and higher knowledge of automation of industrial processes in students.

Mechanical elements, tires, and adequate electrics were determined by the means of an electro pneumatic for container filling process. The module has capacitive sensors, off valves, transmission system, pneumatic cylinders, conveyor belt (NORM UNE 18025), and PLC S7-200. The study of statics charges allowed knowing the weight value to be help up by the structure. Software STEP 7 Micro/Win worked to program the PLC process correctly.

Conveyor belt velocity is 10 cm/s, this may be modified through transmission system timing-change wheel according to needs which is slipped by a redactor engine that turns 90 revolutions per minute; container filling was performed by the means of a pump flow of 28 L/min, so the module is suitable to be applied in the industry in order to better process.

Before operating the equipment it is recommended read the operation and maintenance manual to make it work correctly and increase lifespan considering induction previously by the person in charge.



# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

Hasta hace poco tiempo atrás el control de procesos industriales se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relés. Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones, se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. Además cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico.

Los Controladores Lógicos Programables han intervenido de forma considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada. El Controlador Lógico Programable (PLC) nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. Los PLC se introdujeron por primera vez en la industria en 1960 aproximadamente. La razón principal de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relees y contactores.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en Dónde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones.

## **1.2 Justificación.**

La presente tesis nace de la necesidad que presentan los estudiantes de la escuela de Ingeniería Industrial de la facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la carencia de conocimientos en sistemas automatizados en el campo práctico eléctrico ya que en la escuela no se cuenta con este tipo de módulos didácticos que pueden ayudar a la mejor enseñanza de las cátedras de una manera práctica, contribuyendo de esta manera a la mejor formación de profesionales de calidad que puedan desarrollar sus actividades en el campo laboral con mayor eficiencia.

Dado que la Escuela de Ingeniería Industrial no cuenta con los recursos suficientes para implementar un laboratorio de Control de Procesos Automatizados resulta conveniente que por medio de trabajos de investigación y aporte de los estudiantes se adquieran diferentes equipos y materiales integrados en módulos didácticos que servirán para el desarrollo de la Escuela.

## **1.3 Objetivos.**

**1.3.1** *Objetivo general.* Construir e implementar un módulo didáctico para el proceso de llenado de envases para la Escuela de Ingeniería Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

Implementar un módulo didáctico controlado con un PLC S7-200 para el proceso de llenado de líquido en envases como aporte al laboratorio de procesos automatizados de la Escuela de Ingeniería Industrial.

Seleccionar la alternativa funcional en la elaboración del módulo para el proceso de llenado de líquidos en envases.

Seleccionar los elementos adecuados para el funcionamiento del módulo.



Determinar la secuencia de programación del PLC S7-200 para el proceso de llenado.

Elaborar las guías de operación y mantenimiento del módulo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Procesos de llenado

El llenado de una botella consiste en la transferencia del líquido desde el tanque que lo contiene hacia la misma. Lo que distingue una tecnología de otra es el modo en que se determina el volumen exacto de producto a transvasar, existen diversos sistemas y diversas tecnologías, que podrían clasificarse en 3 grandes categorías:

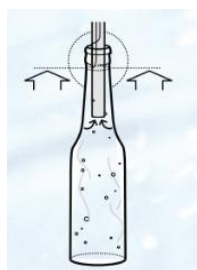
- Llenadoras a nivel
- Llenadoras volumétricas
- Llenadoras ponderales

En estos dos últimos casos, un sensor el cual envía señal a una válvula permite el paso del fluido hacia la botella y lo interrumpe en función de los parámetros de producción programados.

##### 2.1.1 Comparación de tecnologías de llenado

**Llenado a nivel.** Tradicionales y de aplicación común, en este tipo de Llenadoras, el nivel queda determinado por la longitud de una cánula que se introduce en la botella durante la fase de llenado. Modificar el nivel en la botella implica, en general, cambiar la cánula.

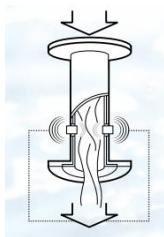
Figura 1. Llenado a nivel



Fuente: Manual OCME Competence Library

**Llenado volumétrico.** En este tipo de llenado se determina el volumen del producto que entra en la botella mediante un sensor y una válvula instalada en cada boca de llenado. Se conocen como “Llenadoras electrónicas”.

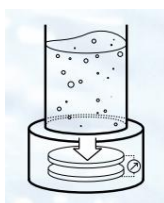
Figura 2. Llenado volumétrico



Fuente: Manual OCME Competence Library

**Llenado ponderal.** En este tipo de Llenadoras se pesa el producto que entra en la botella tras haber calibrado el sensor con la tasa correspondiente. Una celda de carga por cada válvula de llenado cumple la función programada. Son las Llenadoras electrónicas por excelencia. (BOLZONI, 2010)

Figura 3. Llenado ponderal



Fuente: Manual OCME Competence Library

Tabla 1. Comparación de tecnologías de llenado

Factores	Peso relativo (%)	Alternativas		
		A nivel	Volumétrica	Ponderal
Precisión	40	3	5	5
Mantenimiento	35	3	4	3
Cambio de formato	15	2	4	3
Facilidad de limpieza	10	4	3	3
Total	100%	2.37	<b>4.3</b>	3.8

Fuente: Autores

De acuerdo a la comparación de las tecnologías de llenado, la más óptima para el proceso de llenado de envases es la volumétrica ya que con esta se determina la cantidad de líquido que queremos envasar.

## **2.2 Los PLC S7-200. Características y funcionamiento.**

El PLC S7-200 es un elemento autónomo compacto que incorpora una unidad central de procesamiento (CPU), la fuente de alimentación, así como entradas y salidas digitales.

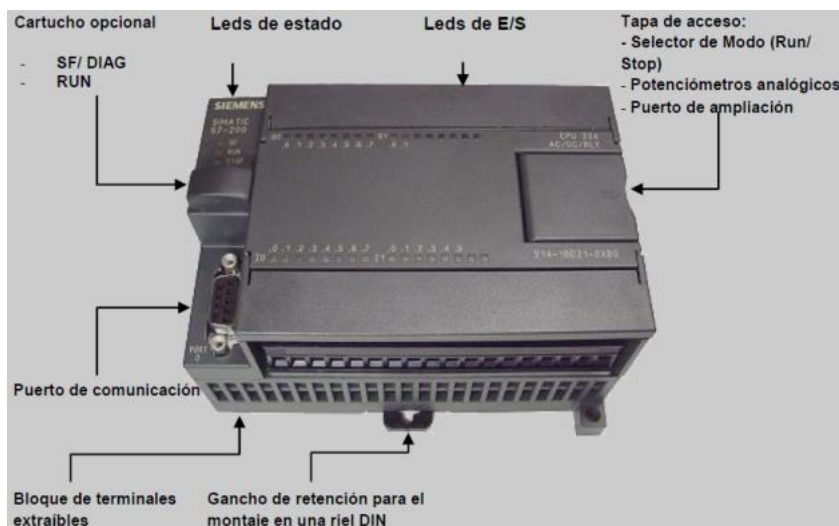
- La CPU ejecuta el programa y almacena los datos para el proceso de automatización.
- La fuente de alimentación proporciona la corriente necesaria a la unidad central y a los módulos de ampliación conectados.
- Las entradas y salidas controlan el sistema de automatización. Las entradas procesan las señales de los aparatos de campo (por ejemplo sensores e interruptores) y las salidas envían la señal a las bombas, motores u otros dispositivos del proceso.
- La interface de comunicación permite conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos. Algunas CPU disponen de dos o más interfaces de comunicación.
- Los diodos luminosos indican el modo de operación de la CPU (RUN o STOP), el estado de las entradas y salidas integradas, así como los posibles fallos que se detecten en el proceso. (AGUINAGA, 2011)

Una vez cargado el programa en el S7-200, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los elementos de entrada y salida. Posee un LED que se puede encender en rojo (LED de fallo del sistema) o amarillo (LED de diagnóstico). El LED de diagnóstico puede encenderse bajo el control del programa de usuario, o también automáticamente al forzarse una E/S, un valor de datos o cuando ocurra un error de E/S en un módulo.

Además la S7-200 conserva un historial de los principales eventos de la CPU, por ejemplo cuando se conecta la alimentación, cuando la CPU pasa a modo RUN y cuando ocurren errores fatales. El reloj de tiempo real debe configurarse para obtener tiempos válidos en el historial.

Existen varios modelos de CPU S7-200 con una gran variedad de funciones y prestaciones para crear soluciones efectivas de automatización destinadas a numerosas aplicaciones. (SIMATIC, 2008)

Figura 4. PLC S7-200



Fuente: Autores

Tabla 2. Comparativa de las CPU S7-200

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP, CPU 224XPsi	CPU 226
Dimensiones físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120,5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del programa: con edición en runtime sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (típ.)	50 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)
E/S integradas Digitales Analógicas	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S 2 E/1 S	24 E/16 S
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>
Contadores rápidos Fase simple	4 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz
Dos fases	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	4 a 20 kHz	2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (DC)	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 100 kHz	2 a 20 kHz
Potenciómetros analógicos	1	1	2	2	2
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Aritmética en coma flotante	Sí				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E / 128 S)				
Velocidad de ejecución booleana	0.22 microsegundos/operación				

Fuente: SIMATIC Manual del sistema de automatización S7-200.

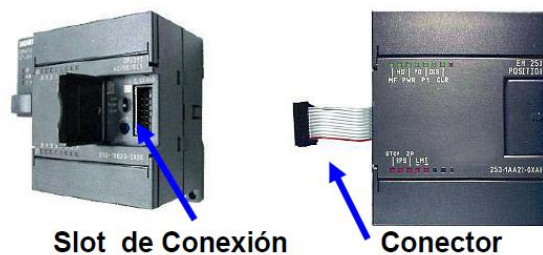
**2.2.1 Módulos de ampliación S7-200.** La gama S7-200 tiene una variedad de módulos de ampliación, los cuales pueden ayudar a mejorar el proceso y agregar funciones a la CPU.

Tabla 3. Módulos de ampliación S7-200

Módulos de ampliación	Tipo de datos			
Módulos digitales				
Entrada	8 entradas DC	8 entradas AC	16 entradas DC	
Salida	4 salidas DC	4 salidas de relé	8 salidas de relé	
	8 salidas DC	8 salidas AC		
Combinación	4 entradas DC / 4 salidas DC	8 entradas DC / 8 salidas DC	16 entradas DC / 16 salidas DC	32 entradas DC / 32 salidas DC
	4 entradas DC / 4 salidas de relé	8 entradas DC / 8 salidas de relé	16 entradas DC / 16 salidas de relé	32 entradas DC / 32 salidas de relé
Módulos analógicos				
Entrada	4 entradas analógicas	8 entradas analógicas	4 entradas termopar	8 entradas termopar
	2 entradas RTD	4 entradas RTD		
Salida	2 salidas analógicas	4 salidas analógicas		
Combinación	4 entradas analógicas 4 salidas analógicas			
Módulos inteligentes				
	Posición	Modem	PROFIBUS-DP	
	Ethernet	Ethernet IT		
Otros módulos				
	ASInterface	SIWAREX MS <sup>1</sup>		

Fuente: SIMATIC Manual del sistema de automatización S7-200.

Figura 5. PLC S7-200 y módulo de ampliación



Fuente: Autores

El S7-200 tiene dos partes esenciales: Generación de decisiones y Memoria de usuario.

- La CPU recibe los datos desde los módulos de entrada y usando el programa de control genera las decisiones basadas en estas entradas.
- El programa de usuario es un conjunto de instrucciones almacenadas en la memoria de usuario o de programa.

- Los módulos de entrada traen las señales, la Unidad Central de Proceso genera decisiones y los módulos de salida controlan los dispositivos del proceso.

Los S7-200 son mandos programables, cuya función está almacenada en un programa compuesto por instrucciones, guardadas en una memoria interna.

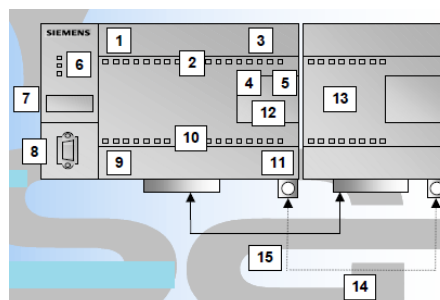
El programa de usuario se escribe en un lenguaje de programación adecuado (Step7 Micro/WIN) y fácil de aprender. (BIANCO, 2006)

## 2.3 Componentes de hardware y software.

### 2.3.1 Configuración hardware.

1. Salidas digitales integradas
2. LED de estado de las salidas digitales
3. Terminales de alimentación
4. Conmutador Stop/Term/Run
5. Conector para el cable de ampliación
6. LED de estado de la CPU
7. Ranura para el cartucho de memoria
8. Puerto de comunicaciones
9. Entradas digitales integradas
10. LED de estado de las entradas digitales
11. Fuente de alimentación integrada
12. Potenciómetros integrados
13. Módulo de ampliación
14. Fijadores para tornillo
15. Pestaña de fijación

Figura 6. Partes del PLC S7-200



Fuente: <http://goo.gl/1JtlIR>

### 2.3.2 Velocidades significativas.

- 0.37  $\mu$ s por instrucción binaria, 70% más rápida en las nuevas CPU 221, 222 y 224
- Mejoras en las características en tiempo real
- 4 a 6 contadores hardware integrados de hasta 30 kHz para control exacto o contaje de alta velocidad.
- 4 entradas de alarma integradas, máxima seguridad en los procesos.
- Entradas de impulsos, para el control de motores paso a paso.
- Interrupciones temporizadas, para el control ininterrumpido de procesos rápidos.
- Entradas analógicas rápidas, para señales variables.
- Reloj en tiempo real
- Generación de interrupciones
- 200 microsegundos entre el evento y la ejecución de la rutina de interrupción (GENIA, 2010)

### 2.3.3 Eliminar errores de hardware.

Tabla 4. Errores de hardware

Síntoma	Causas posibles	Solución posible
Las salidas han dejado de funcionar.	El equipo controlado ha causado una sobretensión que ha averiado la salida. <ul style="list-style-type: none"><li>- Error en el programa de usuario.</li><li>- Cableado suelto o incorrecto.</li><li>- Carga excesiva.</li><li>- Salida forzada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Al conectar la CPU a una carga inductiva (p. ej. un motor o un relé) es preciso utilizar un circuito de supresión adecuado.</li><li>-Corrija el programa de usuario.</li><li>-Compruebe y corrija el cableado.</li><li>-Compruebe la carga en las E/S.</li><li>-Compruebe si hay E/S forzadas en el S7-200.</li></ul>
El diodo "SF" (System Fault) del S7-200 se enciende (rojo).	<ul style="list-style-type: none"><li>- Error en el programa de usuario.</li><li>- Error de rango</li><li>- Ruido eléctrico</li><li>- Componente averiado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En caso de un error de programación, consulte la descripción de las operaciones FOR, NEXT, JMP, LBL, así como de las operaciones de comparación.</li><li>En caso de un ruido eléctrico:<ul style="list-style-type: none"><li>- Es muy importante que el sistema eléctrico esté conectado correctamente a tierra.</li><li>- Conecte a tierra el terminal M de la alimentación de sensores de 24 V DC.</li></ul></li></ul>



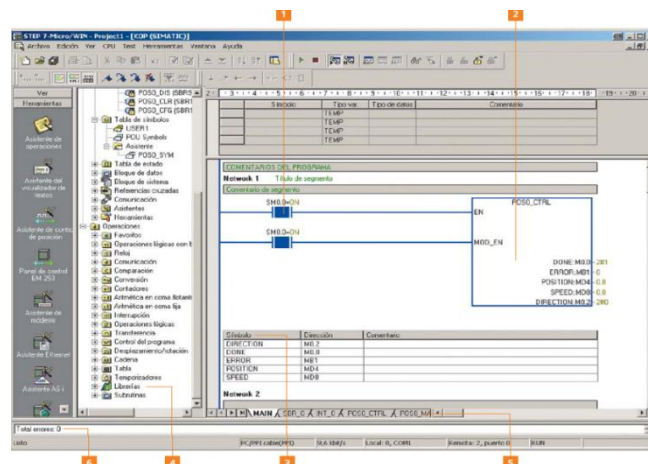
No se enciende ninguno de los LED.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fusible fundido</li> <li>- Hilos de 24 V invertidos</li> <li>- Tensión incorrecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conecte un dispositivo para medir la magnitud y la duración de las puntas de sobretensión. Conforme a esa información, incorpore un dispositivo apropiado de supresión de sobretensiones.</li> </ul>
Operación intermitente en relación con aparatos de alta energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puesta a tierra incorrecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conecte un dispositivo para medir la magnitud y la duración de las puntas de sobretensión. Conforme a esa información, incorpore un dispositivo apropiado de supresión de sobretensiones.</li> </ul>
Red de comunicación averiada al conectar un aparato externo. (Están averiados el puerto del PC, el puerto del S7-200 o el cable PC/PPI).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El cable de comunicación puede convertirse en una ruta de corrientes indeseadas si los equipos que no tengan separación galvánica (tales como las CPU, los PC u otros aparatos conectados al cable) no comparten un mismo hilo de referencia en el circuito.</li> <li>- Las corrientes indeseadas pueden causar errores de comunicación o averiar los circuitos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilice un cable PC/PPI con aislamiento galvánico.</li> </ul>

Fuente: Autores

**2.3.4 STEP 7-Micro/WIN.** El software de programación STEP 7-Micro/WIN posee herramientas que permiten ahorrar mucho tiempo que incluyen nuevos asistentes perfeccionados que simplifican más la programación., lo que da como resultado un enorme ahorro de costos durante el trabajo cotidiano. Además Micro/WIN permite programar la serie completa de PLC S7-200.

STEP 7-Micro/WIN 4.0 ofrece una memoria de datos segmentada, un manejo más eficaz de las estructuras de programas e instrucciones, o funciones de diagnóstico como un LED personalizado o historial de fallos.

Figura 7. STEP 7-Micro/WIN



Fuente: SIEMENS Simatic Controller. Answers for industry

## **1 Funciones online integradas**

- Edición en runtime
- Estado online

## **2 Posibilidad de ayuda contextual online para todas las funciones**

## **3 Notación simbólica y tablas de símbolos claras e informativas**

- Tablas de símbolos estándar
- Tablas autodefinidas

## **4 Programación estructurada con librerías**

- Librería Modbus
- Librerías autodefinidas

## **5 Programación estructurada con subprogramas**

- Subprogramas parametrizables
- Subprogramas protegidos por contraseña
- Activación repetida en el programa de usuario
- Posibilidad de importar/exportar subprogramas

## **6 Búsqueda y eliminación de errores**

- Búsqueda rápida de errores online
- Localización de errores mediante clic con el ratón. (SIEMENS, 2008)

**2.3.5** *Utilizar STEP 7 Micro/WIN para programar.* Para iniciar STEP 7-Micro/WIN, haga doble clic en el icono de STEP 7--Micro/WIN o elija los comandos Inicio > SIMATIC > STEP 7-Micro/WIN V4.0. Como muestra la figura 5, STEP 7-Micro/WIN ofrece una interfaz de usuario cómoda para crear el programa de control. Las barras de herramientas contienen botones de método abreviado para los comandos de menú de uso frecuente. Estas barras se pueden mostrar u ocultar. La barra de navegación comprende iconos que permiten acceder a las diversas funciones de programación de STEP 7-Micro/WIN.

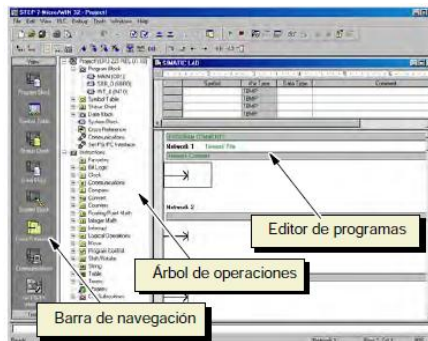
En el árbol de operaciones se visualizan todos los objetos del proyecto y las operaciones para crear el programa de control. Para insertar operaciones en el programa, puede utilizar el método de “arrastrar y soltar” desde el árbol de operaciones, o bien hacer doble clic en una operación con objeto de insertarla en la posición actual del cursor en el editor de programas.

El editor de programas contiene el programa y una tabla de variables locales. Donde se pueden asignar nombres simbólicos a las variables locales temporales. Las subrutinas y las rutinas de interrupción se visualizan en forma de fichas en el borde inferior del editor de programas. Para acceder a las subrutinas, a las rutinas de interrupción o al programa principal, haga clic en la ficha en cuestión.

STEP 7-Micro/WIN ofrece tres lenguajes de programación:

- Esquema de contactos (KOP),
- Lista de instrucciones (AWL)
- Diagrama de funciones (FUP). (SIMATIC, 2008)

Figura 8. STEP 7-Micro/WIN



Fuente: SIMATIC Manual del sistema de automatización S7-200.

## 2.4 Control y monitoreo de datos.

### 2.4.1 Respaldo de datos en la CPU de un S7-200.

- El S7-200 posee diversos métodos para garantizar que el programa, los datos de éste y los datos de configuración se almacenen de forma segura.
- El S7-200 dispone de un condensador de alto rendimiento que conserva el contenido completo de la memoria RAM después de un corte de energía.

- Dependiendo del modelo de CPU S7-200, el condensador puede respaldar la memoria durante varios días.
- El S7-200 soporta también un cartucho de pila opcional que prolonga el tiempo durante el que se puede respaldar la memoria RAM después de un corte de alimentación

**2.4.2 Señales de entrada y salida.** Estos autómatas tienen conexión con el mundo exterior a través de:

– Entradas digitales: 24Vcc (activadas por tensión)

1 lógico corresponde a una tensión de 24Vcc (15Vcc a 30Vcc)

0 lógico corresponde a la ausencia de tensión (0 a 5Vcc)

– Salidas digitales: 24Vcc (hasta 700 mA)

1 lógico corresponde a una tensión de 24Vcc (mayor a 20Vcc)

0 lógico corresponde a la ausencia de tensión (menor a 0,1Vcc sobre 10 kΩ)

Relé (hasta 2 A)

1 lógico corresponde a un contacto cerrado

0 lógico corresponde a un contacto abierto

– Entradas analógicas: 0 a 10 V

4 a 20 mA

– Salidas analógicas: +/-10V

0 a 20 mA

Una entrada digital es una señal que puede ser “SI” o “NO” (“0” o “1”), a la cual podemos conectar los siguientes proveedores de señal:

- Pulsadores.
- Transmisores de presión.
- Fines de carrera.
- Sensores de proximidad.
- Barreras luminosas.

Una señal de entrada analógica es aquella que lentamente a lo largo del tiempo, varía en magnitud (intensidad o tensión) proporcionalmente a una magnitud física que se desea medir. Esta señal puede provenir de los siguientes proveedores de señal:

- Sensores de nivel
- Transmisores de presión
- Caudalímetros
- Termocuplas
- RTD's
- Tacómetros

Una salida digital se usa para poner un dispositivo de campo en ON / OFF, la cual comanda los siguientes actuadores:

- Indicadores luminosos
- Cilindros
- Solenoides
- Electroválvulas

Las salidas analógicas controlan los dispositivos que continúan variando su intensidad, las cuales mandan los siguientes actuadores:

- Posicionadores de apertura de válvulas
- Convertidores de frecuencia (BIANCO, 2006)

## CAPÍTULO III

### 3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL MÓDULO E INSTALACIÓN DEL PLC S7-200 Y CONEXIONES.

#### 3.1 Selección del sistema

**3.1.1** *Selección del tipo de llenado.* Para la selección del tipo de llenado se tiene dos alternativas:

- Llenado lineal:

Figura 9. Llenado lineal



Fuente: <http://goo.gl/gEA5Z3>

- Llenado circular

Figura 10. Llenado circular



Fuente: <http://goo.gl/1NT7Gq>

### 3.1.1.1 Análisis para la selección del tipo de llenado:

Tabla 5. Selección del tipo de llenado

Factores	Peso relativo (%)	Alternativas	
		Llenado lineal	Llenado circular
Dosificación	25	5	4
Sistema de transporte de botellas	40	4	3
Mantenimiento	20	4	2
Costo	15	5	1
Total	100%	4,75	2,5

Fuente: Autores

De acuerdo con los criterios analizados, la mejor alternativa es la de llenado lineal debido a las facilidades del sistema.

El llenado se lo realiza ya sea utilizando una bomba centrífuga o mediante la caída del fluido por gravedad. Debido a que el módulo de llenado de envases se asemeja a lo utilizado en la industria se eligió el llenado mediante una bomba centrífuga además porque mediante este método se consigue un mayor caudal de llenado en menor tiempo.

**3.1.2 Selección del tipo de tapado.** Para la selección del tipo de tapado tenemos las siguientes alternativas:

- Tapado mediante cilindro neumático:

Figura 11. Tapado mediante cilindro neumático



Fuente: Autores

- Tapado manual:

Figura 12. Tapado manual



Fuente: <http://goo.gl/2QhVpG>

### 3.1.2.1 Análisis para la selección del tipo de tapado:

Tabla 6. Criterios para la selección del tipo de tapado

Factores	Peso relativo (%)	Alternativas	
		Tapado mediante cilindro	Tapado manual
Tiempo	20	5	3
Humano	40	5	1
Costo	40	5	1
Total	100%	5	1,6

Fuente: Autores

De acuerdo con los criterios analizados, la mejor alternativa es la de tapado mediante cilindro neumático ya que con este se aumentaría el número de envases en un menor tiempo.

**3.1.3 Sistema seleccionado.** Mediante los análisis realizados se ha determinado las mejores alternativas para la selección de los sistemas tanto de llenado como de tapado de los envases, por lo cual se tiene que el sistema es de forma lineal mediante tapado con un cilindro neumático.

Figura 13. Sistema lineal



Fuente: Autores



### 3.2 Secuencia de trabajo

Para todos los procesos (Llenado, Parada de Envases y Tapado) se utilizarán cilindros de doble efecto.

Los parámetros generales para su selección son los siguientes:

- Fuerza a generar
- Longitud de carrera

**3.2.1 Descripción del proceso de llenado de envases.** Se necesita que al ingresar los envases en la banda estos sean llenados y tapados de forma automática sin la intervención de un operario en el proceso.

El proceso consta de 3 etapas

El motor que activa la banda inicia su funcionamiento desde que el operador pulsa el botón de marcha de la máquina.

**1. Llenado de fluido en la botella.** Esta etapa inicia desde que un sensor capacitivo detecta el primer envase y se acciona el cilindro neumático #2 el cual detendrá el avance de los envases. A continuación mediante programación el sensor detecta el número de envases requeridos y detiene el avance de la banda transportadora, después de un tiempo determinado se activa el proceso de llenado, una vez terminado este proceso, el cilindro 1 regresa a su posición al igual que el cilindro 2 y se activa el avance de la banda transportadora.

**2. Ubicación de las tapas en cada envase.** Una tapa es colocada por gravedad en cada envase, para lo cual la guía debe estar perfectamente posicionada. En esta parte del proceso la banda continúa su marcha normal.

**3. Tapado bajo presión.** En esta etapa del proceso un cilindro lleva en su extremo una matriz para tapar los envases a presión. El sensor capacitivo #2 detecta el primer envase, detiene el avance de la banda después de un tiempo determinado y estos quedan alineados con la matriz

para el tapado, el cilindro se activa y bajo efecto de la presión tapa completamente los envases. El cilindro regresa y la banda reinicia su marcha culminando así el proceso.

De acuerdo a lo analizado, la secuencia de trabajo queda establecida de la siguiente manera:

**B+ / A+ / B- / A- / C+ / C-**

Siendo:

A+ = Avance del cilindro 1

A- = Retroceso del cilindro 1

B+ = Avance del cilindro 2

B- = Retroceso del cilindro 2

C+ = Avance del cilindro 3

C- = Retroceso del cilindro 3

Figura 14. Secuencia de trabajo

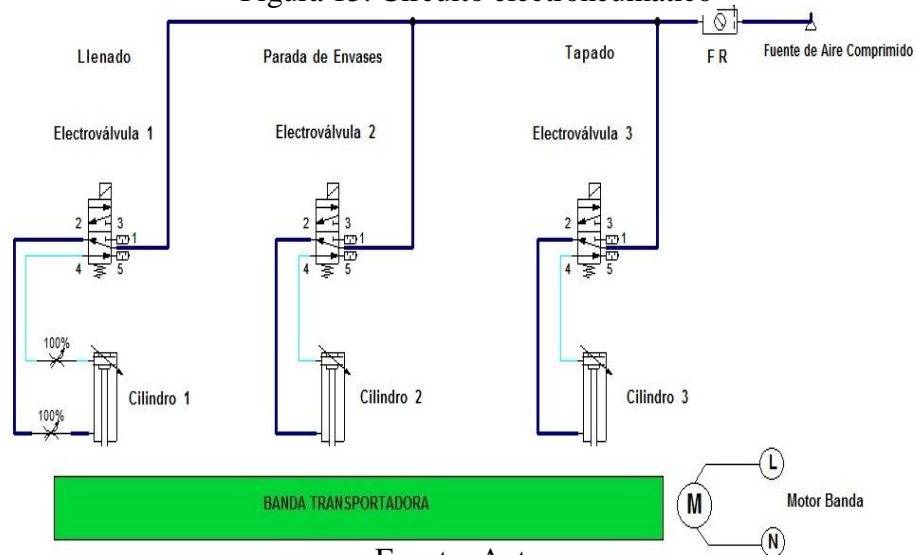


Fuente: Autores

### 3.3 Diseño del circuito electroneumático

Una vez determinada la secuencia de trabajo se realiza el diseño del circuito electroneumático el cual nos permite determinar los elementos necesarios para su funcionamiento.

Figura 15. Circuito electroneumático

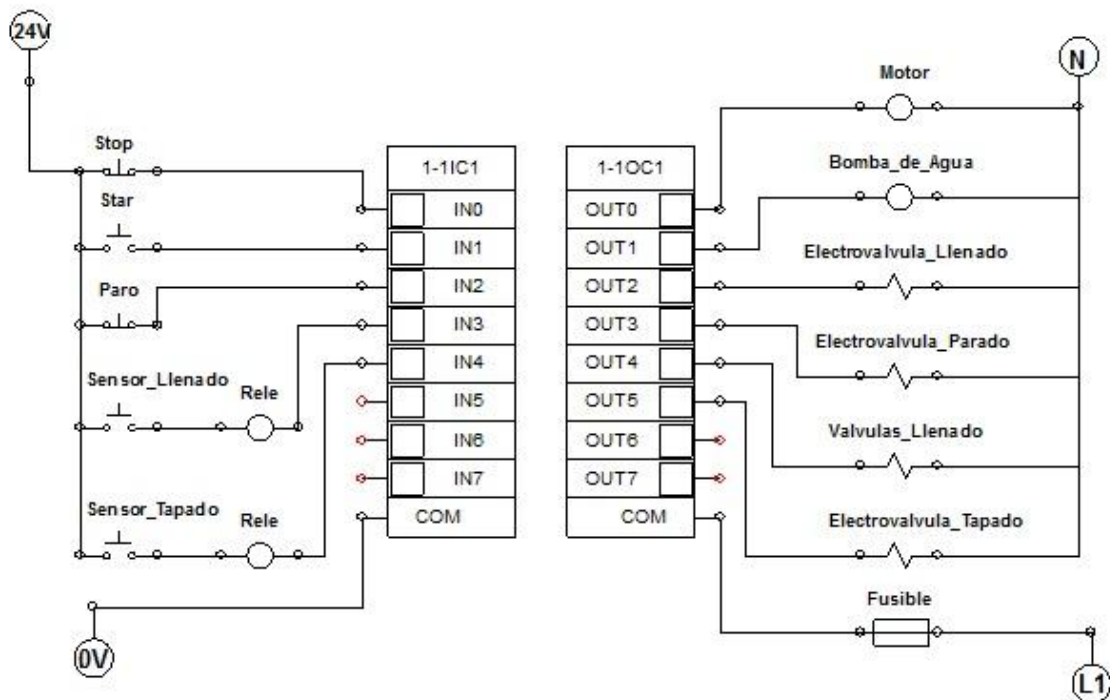


Fuente: Autores

### 3.4 Diseño del circuito eléctrico

El circuito eléctrico permite determinar cada uno de los elementos eléctricos a conectarse en el PLC S7-200.

Figura 16. Circuito eléctrico

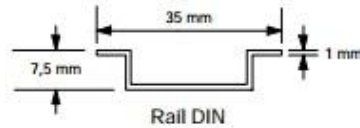


Fuente: Autores

### 3.5 Montaje del PLC S7-200

El montaje se realiza de forma horizontal y sobre un rail normalizado (DIN), el cual irá colocado dentro de una caja metálica.

Figura 17. Rail DIN

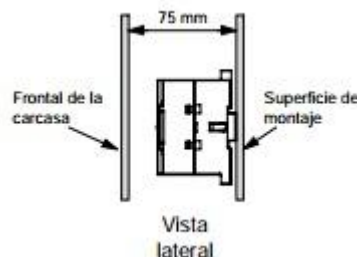


Fuente: <http://goo.gl/YXpX9w>

Para el montaje del S7-200 se debe seguir las siguientes recomendaciones:

1. *Alejar el equipo S7-200 de Fuentes de calor y alta tensión.* Los aparatos de alta tensión pueden generar interferencias en las señales. Así también los dispositivos que generan calor pueden acortar la vida útil del S7-200.
2. *Disponga el espacio suficiente para la ventilación y el cableado.* La ventilación se debe realizar por convección natural, se debe dejar un margen mínimo de 25 mm por encima y por debajo del equipo y por lo menos 75 mm para la profundidad de montaje, esto con relación a las paredes de la caja metálica. Se debe prever también el espacio necesario para el cableado y la conexión de los cables de comunicación.

Figura 18. Montaje del S7-200



Fuente: <http://goo.gl/Gz3TuC>

3. Antes de montar o desmontar cualquier aparato eléctrico se debe vigilar que se haya desconectado la fuente de alimentación del mismo así como también de todos los equipos conectados.

4. Si existen vibraciones es necesario asegurar el S7-200 con topes o ya sea también montándolo sobre un panel.

Figura 19. Montaje y conexiones del S7-200



Fuente: Autores

### 3.6 Selección de elementos

**3.6.1 Selección de los cilindros neumáticos.** Se debe realizar un cálculo de forma teórica de los diámetros tanto del émbolo como del vástago para luego proceder a verificar los cilindros existentes en el mercado con la ayuda de tablas o catálogos y así tener los diámetros normalizados.

Figura 20. Cilindro de doble efecto



Fuente: Autores

**3.6.6.1 Cilindro para el proceso de llenado.** La función de este cilindro es la de bajar su vástago el cual tiene acoplado en su extremo las válvulas para el paso del fluido y acercarlas a una distancia cercana a los envases y así poder llenarlos.

Figura 21. Cilindro para proceso de llenado



Fuente: Autores

Los parámetros para la selección de este cilindro son:

- La fuerza que debe generar el cilindro debe ser mayor que el peso a descender y a elevar (peso del sistema de paso de fluido) para así poder realizar el trabajo requerido.
- La longitud de carrera no requiere de un mayor análisis para este cilindro ya que se puede regular la distancia entre las válvulas de paso y las botellas mediante la parte mecánica ubicada en la parte posterior de la máquina.

### **Cálculo del cilindro para el proceso de llenado.**

Datos:

Masa de las válvulas de paso:  $0.09 \text{ kg} * 3 = 0.27 \text{ kg}$

Masa de porta válvulas:  $0.42 \text{ kg}$

Masa total:  $0.69 \text{ kg}$

Presión de trabajo:  $6 \text{ bar} = 6 * 10^5 \text{ Pas}$

### **Desarrollo**

Con la ayuda de la ecuación 1 se procede a calcular el diámetro del cilindro.

$$D = \sqrt{\frac{4 F_t}{\pi P}} \quad (1)$$

Dónde:

D: Diámetro del émbolo

Ft: Fuerza teórica

P: Presión de trabajo

Se calcula el peso de la carga a elevar utilizando la ecuación 2.

Dónde:

W: Peso total a vencer

$m_T$ : Masa total a vencer

$F_e$ : Fuerza efectiva

$$W = m_T * g \quad (2)$$

$$W = 0.69 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = F_e = 6.76 \text{ N}$$

La fuerza total a vencer es de 6.76 N a la cual se debe sumarle el 10% de la fuerza de rozamiento para conseguir así un rendimiento del 90%.

Se calcula la fuerza teórica aplicando la ecuación 3.

Dónde:

$F_t$ : Fuerza teórica

$F_e$ : Fuerza efectiva

$F_r$ : Fuerza de rozamiento

$$F_e = F_t - F_r \quad (3)$$

$$F_r = 0.1 F_t$$

$$F_e = F_t - 0.1 F_t$$

$$F_e = 0.9 F_t$$

Al despejar la fuerza teórica se tiene:

$$F_t = \frac{F_e}{0.9}$$

$$F_t = \frac{6.76 \text{ N}}{0.9}$$

$$F_t = 7.51 \text{ N}$$

Reemplazamos la fuerza teórica en la ecuación 1:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 7.51 \text{ N}}{\pi * 6 * 10^5 \text{ Pas}}}$$

$$D = 0.00399 \text{ m}$$

$$D = 3.99 \text{ mm}$$

Se obtuvo un diámetro del émbolo de 3.99 mm, con este dato se procede a seleccionar el cilindro en un catálogo.

Figura 22. Selección del cilindro 1

¿Cómo Ordenar?	Características	Especificaciones					
Cylinder Diameter(mm)	12	16	20	25	32	40	
Acting type	Double Acting    Single acting						
Working medium	Clean Air(40 micron filtration)						
Mounting type	Basic type IFA ISDB ILB						
Working pressure(MPa)	0.1~1.0						
Max. pressure(MPa)	1.35						
Speed range(mm's)	10~1000						
Working temperature (°C)	0~80( dry air-20)						
Cushion Type	16mm~25mm are with adjustable cushion, other size cushion is optional						
Material	Stainless steel barrel (aluminum barrel optional ),PTFE seal						
Thread Size(mm)	M5X0.8			G1/8			

Fuente: <http://goo.gl/ZwU2gI>

Debido a que no existe en el mercado un cilindro de un diámetro tan bajo se ha tenido que sobredimensionar el mismo, obteniendo un micro cilindro de:

- Diámetro del émbolo = 16 mm
- Diámetro del vástago = 5 mm
- Carrera = 100 mm

Una vez obtenido el cilindro necesario se procede a determinar el consumo del aire con la ecuación 4.

$$V = A + A'' (\text{Carrera} * n) * R_c \quad (4)$$

Dónde:

V: Consumo de aire



Rc: Relación de compresión

A: Área del cilindro en el avance

A'': Área del cilindro en el retorno

n: Número de ciclos por minuto

Se calcula el área del cilindro en el avance con la ecuación 5.

Dónde:

D: Diámetro del cilindro

$$A = 0.785 D^2 \quad (5)$$

$$A = 0.785 (16\text{mm})^2$$

$$A = 200.96 \text{ mm}^2$$

Se calcula el área del cilindro en el retorno con la ecuación 6.

Dónde:

d: Diámetro del vástago

$$A'' = 0.785 (D^2 - d^2) \quad (6)$$

$$A'' = 0.785 (16^2 - 5^2)$$

$$A'' = 181.34 \text{ mm}^2$$

Se calcula la relación de compresión con la ecuación 7.

Dónde:

Patm: Presión atmosférica

Ptrabajo: Presión de trabajo

$$Rc = \frac{Patm + Ptrabajo}{Patm} \quad (7)$$

$$Rc = \frac{(10^5 + 6 * 10^5)\text{Pas}}{10^5 \text{ Pas}}$$

$$Rc = 7$$

Se reemplaza los resultados en la ecuación 4

$$V = A + A'' (\text{Carrera} * n) * R_c$$

$$V = (200.96 \text{ mm}^2 + 181.34 \text{ mm}^2) (100 \text{ mm} * 6 \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}) * 7$$

$$V = 1605660 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$V = 1.61 \text{ L/min}$$

### 3.6.1.2 Cilindro para la parada de envases.

La función de este cilindro consiste en detener los envases hasta q se acumule el número necesario de los mismos para el proceso de llenado.

Figura 23. Cilindro para parada de envases



Fuente: Autores

Los parámetros para la selección de este cilindro son:

- La fuerza que debe generar el cilindro es nula ya que no debe vencer ninguna fuerza, por lo cual no se requiere de cálculos para su selección sino tan solo se lo analizará en base a los costos.
- La longitud de carrera debe ser aproximadamente igual al ancho de los envases a ser llenados.

### Cálculo del cilindro para la parada de envases.

Debido al análisis que se hizo en los parámetros para la selección de este cilindro se ha elegido uno cuyo diámetro es uno de los más bajos existentes en el mercado cuyas dimensiones son:

- Diámetro del émbolo = 16 mm

- Diámetro del vástago = 5 mm
- Carrera = 50 mm

Una vez obtenido el cilindro necesario se procede a determinar el consumo del aire con la ecuación 4.

$$V = A + A'' (Carrera * n) * Rc$$

Dónde:

V: Consumo de aire

Rc: Relación de compresión

A: Área del cilindro en el avance

A'': Área del cilindro en el retorno

n: Número de ciclos por minuto

Se calcula el área del cilindro en el avance con la ecuación 5.

Dónde:

D: Diámetro del cilindro

$$A = 0.785 D^2$$

$$A = 0.785 (16\text{mm})^2$$

$$A = 200.96 \text{ mm}^2$$

Se calcula el área del cilindro en el retorno con la ecuación 6.

Dónde:

d: Diámetro del vástago

$$A'' = 0.785 (D^2 - d^2)$$

$$A'' = 0.785 (16^2 - 5^2)$$

$$A'' = 181.34 \text{ mm}^2$$

Se calcula la relación de compresión con la ecuación 7.

Dónde:

Patm: Presión atmosférica

Ptrabajo: Presión de trabajo

$$Rc = \frac{Patm + Ptrabajo}{Patm}$$

$$Rc = \frac{(10^5 + 6 * 10^5) \text{Pas}}{10^5 \text{ Pas}}$$

$$Rc = 7$$

Se reemplaza los resultados en la ecuación 4

$$V = A + A'' (\text{Carrera} * n) * Rc$$

$$V = (200.96 \text{ mm}^2 + 181.34 \text{ mm}^2) (50 \text{ mm} * 6 \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}) * 7$$

$$V = 802830 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$V = 0.80 \text{ L/min}$$

**3.6.1.3 Cilindro para el proceso de tapado.** La función de este cilindro es la de bajar su vástago el cual tiene acoplado en su extremo una matriz la cual ejercerá presión sobre los envases para así poder completar el proceso.

Figura 24. Cilindro y matriz para tapado



Fuente: Autores

Los parámetros para la selección de este cilindro son:

- La fuerza generada por el cilindro debe vencer la fuerza de rozamiento entre las tapas y los envases.
- Al igual que para el cilindro del proceso de llenado, la longitud de carrera no requiere de un mayor análisis para este ya que se puede regular la distancia entre la matriz de tapado y las botellas mediante la parte mecánica ubicada en la parte posterior de la máquina.

### **Cálculo del cilindro para el proceso de tapado.**

Desarrollo

Con la ayuda de la ecuación 1 se procede a calcular el diámetro del cilindro.

$$D = \sqrt{\frac{4 F_t}{\pi P}} \quad (1)$$

Dónde:

D: Diámetro del émbolo

F<sub>t</sub>: Fuerza teórica

P: Presión de trabajo

Se calcula la fuerza que debe vencer el cilindro mediante experimentación colocando pesos sobre las tapas hasta que estas queden selladas.

$$m = 68.83 \text{ kg}$$

$$W = m * g$$

$$W = F_e = 675.2 \text{ N}$$

La fuerza total a vencer es de 675.2 N a la cual se debe sumarle el 10% de la fuerza de rozamiento para conseguir así un rendimiento del 90%.

Se calcula la fuerza teórica aplicando la ecuación 3.

Dónde:

Ft: Fuerza teórica

Fe: Fuerza efectiva

Fr: Fuerza de rozamiento

$$Fe = Ft - Fr$$

$$Fr = 0.1 Ft$$

$$Fe = Ft - 0.1 Fr$$

$$Fe = 0.9 Ft$$

Al despejar la fuerza teórica se tiene:

$$Ft = \frac{Fe}{0.9}$$

$$Ft = \frac{675.2 \text{ N}}{0.9}$$

$$Ft = 750.22 \text{ N}$$

Se reemplaza la fuerza teórica en la ecuación 1:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 750.22 \text{ N}}{\pi * 6 * 10^5 \text{ Pas}}}$$

$$D = 0.0399 \text{ m}$$

$$D = 39.9 \text{ mm}$$

Se obtuvo un diámetro del émbolo de 39.9 mm, con este dato se procede a seleccionar el cilindro en un catálogo.

Figura 25. Selección del cilindro 3

#### Cilindros redondos

Tipo	
	Cilindro redondo DSNU
Funcionamiento	Doble efecto
Diámetro del émbolo	32 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm
Fuerza teórica con 6 bar en avance	482,5 ... 1870,3 N
Carrera	1 ... 500 mm

Fuente: <http://goo.gl/2aSt2i>

- Diámetro del émbolo = 40 mm
- Diámetro del vástago = 12 mm

- Carrera = 60 mm

Una vez obtenido el cilindro necesario se procede a determinar el consumo del aire con la ecuación 4.

$$V = A + A'' (\text{Carrera} * n) * R_c$$

Dónde:

V: Consumo de aire

R<sub>c</sub>: Relación de compresión

A: Área del cilindro en el avance

A'': Área del cilindro en el retorno

n: Número de ciclos por minuto

Se calcula el área del cilindro en el avance con la ecuación 5.

Dónde:

D: Diámetro del cilindro

$$A = 0.785 D^2 \quad (5)$$

$$A = 0.785 (40\text{mm})^2$$

$$A = 1256 \text{ mm}^2$$

Se calcula el área del cilindro en el retorno con la ecuación 6.

Dónde:

d: Diámetro del vástago

$$A'' = 0.785 (D^2 - d^2) \quad (6)$$

$$A'' = 0.785 (40^2 - 12^2)$$

$$A'' = 1142.96 \text{ mm}^2$$

Se calcula la relación de compresión con la ecuación 7.

Dónde:

Patm: Presión atmosférica

Ptrabajo: Presión de trabajo

$$R_c = \frac{P_{atm} + P_{trabajo}}{P_{atm}} \quad (7)$$

$$R_c = \frac{(10^5 + 6 * 10^5) \text{ Pas}}{10^5 \text{ Pas}}$$

$$R_c = 7$$

Se reemplaza los resultados en la ecuación 4

$$V = A + A'' (\text{Carrera} * n) * R_c$$

$$V = (1256 \text{ mm}^2 + 1142.96 \text{ mm}^2) (60 \text{ mm} * 6 \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}) * 7$$

$$V = 6045379.2 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$V = 6.05 \text{ L/min}$$

El consumo total de aire del sistema en el proceso de llenado de envases es:

$$V_T = 1.61 \text{ L/min} + 0.8 \text{ L/min} + 6.05 \text{ L/min}$$

$$V_T = 8.46 \text{ L/min}$$

$$V_T = 507.6 \text{ L/h}$$

**3.6.2 Selección de la banda transportadora.** Se utiliza el sistema de transportación por banda ya que es el más adecuado para la transportación de envases.



**3.6.2.1 Ancho de la banda transportadora.** El ancho es normalizado para cualquier tipo de banda y lo seleccionamos de la siguiente tabla:

Tabla 7. Anchos de banda

Anchos de bandas normalizados (mm)									
150	200	300	500	600	650	800	1000	1200	1600

Fuente: Norma UNE 18025

Se ha seleccionado un ancho de banda de 200 mm para el transporte de los envases por tratarse de un módulo didáctico.

Las características de la banda son las siguientes:

- Banda de POLIESTER/PVC
- Espesor de 1.5 mm
- Acabado liso
- Tensión Máxima 200 kg/in
- Temperatura Máxima de trabajo 100° C
- Color verde

Se eligieron estos parámetros por recomendaciones del fabricante ya que este tipo de bandas son utilizadas para el transporte de alimentos sin contacto directo, lo cual se asemeja al proceso del módulo de llenado de envases.

**3.6.2.2 Velocidad de la banda transportadora.** De acuerdo a la norma UNE 18025, la velocidad de una banda para transportar peso ligero está entre 0.05 m/s y 1 m/s.

Para el módulo de llenado de envases se selecciona una velocidad de 0.1 m/s ya que así se podrá apreciar el proceso con mejor detalle.

**3.6.3 Selección de los rodillos.** Para la selección de los rodillos se siguieron las recomendaciones del fabricante, y se adquirieron rodillos de las siguientes características:

- Diámetro 4 pulgadas
- Longitud 210 mm
- Ejes de sujeción de 1 pulgada
- Acabado liso

Estas características hacen que haya una mayor sujeción del rodillo con la banda transportadora y que de esta manera no exista deslizamiento.

**3.6.4 Selección del motor.** Se tiene dos alternativas para la selección del motor:

Alternativa 1: Motor reductor

Figura 26. Motor reductor



Fuente: <http://goo.gl/jKeW9w>

Alternativa 2: Motor jaula de ardilla

Figura 27. Motor jaula de ardilla



Fuente: <http://goo.gl/167udw>

### 3.6.4.1 Análisis para la selección del motor

Tabla 8. Criterios para la selección del motor

Factores	Peso relativo (%)	Alternativas	
		Motor reductor	Motor jaula de ardilla
Peso	15	5	2
Instalación	15	5	3
Vida útil	15	4	4
Velocidad	30	4	2
Costo	25	4	2
Total	100%	<b>4,4</b>	2,6

Fuente: Autores

De acuerdo a los criterios expuestos, se selecciona la alternativa 1 que corresponde al motor reductor debido a las facilidades que presta en su funcionamiento.

**3.6.4.2 Características del motor reductor.** Una vez seleccionado el motor reductor en base a criterios, se procede a determinar las características del mismo a partir de la velocidad requerida en la banda transportadora.

La velocidad seleccionada de 0.1 m/s a la cual recorrerá la banda transportadora la convertimos a RPM para determinar la velocidad del rodillo motriz al cual irá acoplado el motor mediante un sistema de transmisión, para esto se procede con los siguientes cálculos:

$$V = \omega \times r$$

$$\omega = \left(0.1 \frac{m}{s}\right) / (2in \times 0.0254)$$

$$\omega = 1.96 \text{ rad/s}$$

$$\text{RPM rodillo motriz} = 18$$

Debido a que no existe en el mercado un motor reductor con el número de revoluciones requerido por ser tan bajo, se debe adquirir uno cuyo número de revoluciones en el eje es el inmediato superior al requerido, el cual es de 90 RPM.

Para poder obtener la velocidad requerida en la banda, el sistema de transmisión debe tener una relación de 5:1.

Tabla 9. Características del motor reductor

Voltaje	110 VAC
Amperaje	0.87 A
Potencia	26 Watts
Hz	60
Sistema	Monofásico
RPM	3400
RPM (en el eje)	90

Fuente: Autores

**3.6.5 Sistema de transmisión.** La mayoría de las máquinas cuyo movimiento sea producido por un motor ya sea eléctrico o de combustión existe la necesidad de controlar su velocidad para poder adaptarla a la velocidad que la máquina necesita trabajar para su buen funcionamiento, esto se logra generalmente usando ruedas dentadas y cadenas o poleas y bandas.

**3.6.5.1 Transmisión de movimiento por poleas y bandas.** Se emplea para transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes distantes permitiendo aumentar, disminuir o mantener la velocidad de giro del eje conductor, al tiempo que mantener o invertir el sentido de giro de los ejes.

### **Ventajas**

- Posibilidad de unir el árbol conductor al conducido a distancias relativamente grandes.
- Funcionamiento suave, sin choques y silencioso.
- Facilidad de ser empleada como un fusible mecánico, debido a que presenta una carga límite de transmisión, valor que de ser superado produce el patinaje (resbalamiento) entre la correa y la polea.

- Diseño sencillo. Costo inicial de adquisición o producción relativamente bajo.

### **Desventajas**

- Grandes dimensiones exteriores.
- Inconstancia de la relación de transmisión cinemática debido al deslizamiento elástico.
- Grandes cargas sobre los árboles y apoyos, y por consiguiente considerables pérdidas de potencia por fricción.
- Vida útil de la correa relativamente baja.
- La potencia que puede transmitir es limitada.
- Volumen superior al de otras transmisiones (piezas de dimensiones grandes y mayor distancia entre ejes).
- Requiere tensión de montaje. Cargas transversal sobre los ejes.

**3.6.5.2 Transmisión de movimiento por rueda dentada y cadena.** Se emplea en sustitución de los reductores de velocidad por poleas cuando lo importante sea evitar el deslizamiento entre la rueda conductora y el mecanismo de transmisión (en este caso una cadena).

Este sistema aporta beneficios sustanciales respecto al sistema correa-polea, pues al emplear cadenas que engranan en los dientes de las ruedas dentadas se evita el deslizamiento que se producía entre la correa y la polea.

### **Ventajas:**

- Presenta la gran ventaja de mantener la relación de transmisión constante (pues no existe deslizamiento).
- Además, no necesita estar tan tensa como las correas, lo que se traduce en menores averías en los rodamientos de los piñones.
- Comparado con el sistema correa-polea, el mecanismo rueda dentada-cadena presenta la ventaja de poder transmitir grandes potencias con un buen rendimiento energético.
- La reducción y aumento de la velocidad puede ser acomodada fácilmente.

- El diámetro de una rueda dentada para un sistema de cadena puede ser más pequeño que una polea en un sistema de una correa.

#### **Desventajas:**

- Presenta el inconveniente de ser más ruidoso.
- Funcionamiento menos flexible (en caso de que el eje conducido cese de girar por cualquier causa, el conductor también lo hará, lo que puede producir averías en el mecanismo motor o la ruptura de la cadena).
- No permite la inversión del sentido de giro ni la transmisión entre ejes cruzados.
- Necesita una lubricación (engrase) adecuada.

#### **3.6.5.3 Análisis para la selección del sistema de transmisión**

Tabla 10. Selección del sistema de transmisión

Factor	Peso relativo (%)	Alternativas	
		Rueda dentada cadena	Polea banda
Espacio	20	5	1
Montaje	15	4	2
Vida útil	10	4	4
Esfuerzo en ejes	40	5	2
Costo	15	4	4
Total	100%	<b>4,4</b>	2,6

Fuente: Autores

De acuerdo a los criterios expuestos la mejor opción para el sistema de transmisión es la de rueda dentada - cadena.

Figura 28. Transmisión rueda dentada - cadena



Fuente: <http://goo.gl/JVna9v>

**3.6.6 Selección de la bomba centrífuga.** Para la selección de la bomba se ha tomado como referencia los datos de una empresa la cual envasa un volumen de líquido de 400 ml.

Los datos referenciales son los siguientes:

Tabla 11. Referencia para selección de bomba

# de envases	Volumen de cada envase	Tiempo de llenado	Caudal de llenado por envase	Caudal total de llenado
6	400 ml	4.8 seg	83.3 ml/seg	500 ml/seg 30 L/min

Fuente: Autores

De acuerdo a estos datos se ha decidido construir el módulo para el llenado de tres envases por tratarse de un sistema didáctico, por lo cual se necesitará aproximadamente la mitad del caudal, siendo los requerimientos mínimos para la selección de la bomba los siguientes:

Tabla 12. Requerimientos mínimos para la selección de la bomba

# de envases	Volumen de cada envase	Caudal de llenado por envase	Caudal de llenado total
3	400 ml	41.65 ml/seg	124.95 ml/seg 7.49 L/min

Fuente: Autores

Con el dato del caudal de 7.47 L/min se procede a seleccionar una bomba centrífuga, ya que no existe en el mercado este tipo de bombas con caudales tan bajos, se selecciona una sobredimensionando los requisitos y analizando también el factor costo, con lo cual se obtiene una bomba centrífuga de las siguientes características técnicas:

Tabla 13. Características de la bomba centrífuga

Modelo	Caudal Máx.	H Máx.	Succión Máx.	RPM	Power (W)	Hp
HYUNDAI	28 L/min	24	9	3450	370	0.5

Fuente: Catálogo de bombas centrífugas HYUNDAI

**3.6.6.1 Tiempo de llenado.** Una vez seleccionada la bomba centrífuga, se procede a tomar el tiempo de llenado de los tres envases el cual es de 6 segundos por tanto el caudal para cada envase es de 66.67 ml/seg. El tiempo obtenido de 6 segundos permite tener 6 ciclos de llenado por minuto.

Figura 29. Bomba centrífuga



Fuente: <http://goo.gl/kQnKYM>

**3.6.7 Selección de electroválvulas.** Para controlar los cilindros de doble efecto son necesarias electroválvulas 5/2 (5 vías, 2 posiciones) ya que estas permiten cambiar simultáneamente las vías de presión y escape y así podemos lograr lo requerido en cada proceso. Además se utilizaron electroválvulas 5/2 monoestables ya que así se ocupa menos salidas del PLC.

Tabla 14. Parámetros técnicos electroválvulas

Tipo	Monoestable 5/2
Voltaje	110 V
Tamaño	1/8"

Fuente: Tesistas

Figura 30. Electroválvula monoestable 5/2



Fuente: <http://goo.gl/ghCBXt>

**3.6.8 Selección de las válvulas de paso.** Se encontró que las válvulas solenoides utilizadas en las lavadoras son las más adecuadas para el proceso ya que pueden ser conectadas directamente a 110 voltios y permiten el paso de un caudal alto de líquido, además de ser económicas.

Su función radica en que al activarse el solenoide, la válvula se abre y permite pasar el flujo de agua.



Figura 31. Válvulas de paso



Fuente: Autores

**3.6.9** *Válvula estranguladora de caudal.* Estas válvulas permiten reducir o bloquear el caudal de aire y así poder controlar la velocidad del cilindro del proceso de llenado.

Tabla 15. Parámetros técnicos válvula estranguladora

Tipo	Regulador manual
Tamaño	1/8"

Fuente: Tesistas

Figura 32. Válvula estranguladora



Fuente: <http://goo.gl/9p2160>

**3.6.10** *Filtro regulador (FR).* Su función se basa en:

- Impedir el paso de contaminantes sólidos y líquidos que estén en el aire.
- Proporcionar una presión de aire controlada y constante que requieren los elementos neumáticos utilizados en el proceso.

El filtro regulador seleccionado permite controlar una presión de trabajo de 6 bares.

Figura 33. Filtro regulador



Fuente: <http://goo.gl/CcZhnq>

**3.6.11 Selección de sensores.** Debido a que el material de los envases es no metálico, el tipo de sensor a utilizarse debe ser capacitivo, el cual tiene las siguientes características:

- Sensor capacitivo de tres hilos
- Señal NPN (Negativa)
- Voltaje: 24 Voltios
- Rango: 8 a 12 mm

Figura 34. Sensor capacitivo



Fuente: <http://goo.gl/vDVccW>

**3.6.12 Selección de pulsadores.**

- Pulsador de emergencia. Tiene la función de desconectar la instalación ante cualquier situación de peligro.

Figura 35. Pulsador de emergencia



Fuente: <http://goo.gl/IvkyWo>

- Pulsador ON: Su función es la de alimentar el circuito e iniciar el proceso.

Figura 36. Pulsador ON



Fuente: <http://goo.gl/ykPG9E>

- Pulsador OFF: Permite detener el proceso momentáneamente sin importar en que ciclo se encuentre.

Figura 37. Pulsador OFF



Fuente: <http://goo.gl/cWLE7g>

**3.6.13 Selección de relés.** Debido a que los sensores emiten una señal negativa se debe conectarlos a un relé el cual nos permite transformar la señal del sensor en positiva ya que solo de esta manera el S7-200 podrá procesarla de forma correcta.

Figura 38. Relé encapsulado



Fuente: <http://goo.gl/QoxeC9>

### 3.7 Construcción y montaje del módulo

Después de haber seleccionado los elementos necesarios se procede a la construcción del módulo.

#### 3.7.1 Armado de la estructura.

- Se corta el perfil cuadrado con sus respectivas medidas.
- Se suelda cada uno de los elementos.

Figura 39. Estructura



Fuente: Autores

### 3.7.2 Montaje de la banda transportadora.

- Se construyen las placas para la sujeción de los rodillos.
- Se cortan el tol de acero inoxidable con sus respectivas medidas y colocamos en la estructura.
- Se acoplan las placas a la estructura.
- Se colocan las chumaceras y ubicamos los rodillos
- Se realiza el montaje la banda y templamos.

Figura 40. Montaje banda transportadora



Fuente: Autores

### 3.7.3 Montaje del sistema de transmisión.

- Se sujeta el motor reductor a la estructura.
- Se coloca las catalinas tanto en el eje del motor como en el eje del rodillo.
- Se coloca la cadena y se alinea.

Figura 41. Sistema de transmisión



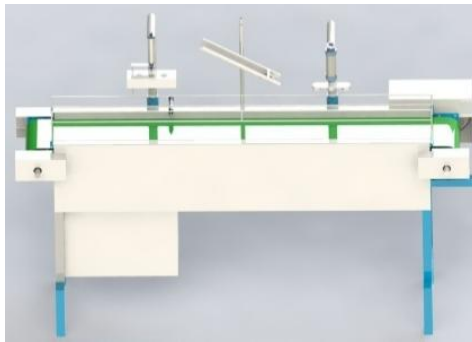
Fuente: Autores

### 3.7.4 Montaje total del módulo.

- Se coloca los tubos redondos de acero inoxidable los cuales servirán para sujetar los cilindros neumáticos para los procesos de llenado y tapado.

- Se sujeta los cilindros neumáticos para los distintos procesos.
- Se coloca las guías para los envases y la guía para las tapas.
- Se coloca las protecciones para las chumaceras y el sistema de transmisión.
- Se ubica los sensores capacitivos.

Figura 42. Módulo ensamblado



Fuente: Autores

### 3.7.5 Armado de la caja de control.

- Se conectan los distintos elementos de control, tales como:
- PLC S7-200
- Relés
- Porta fusibles
- Borneras
- Electroválvulas y Botones

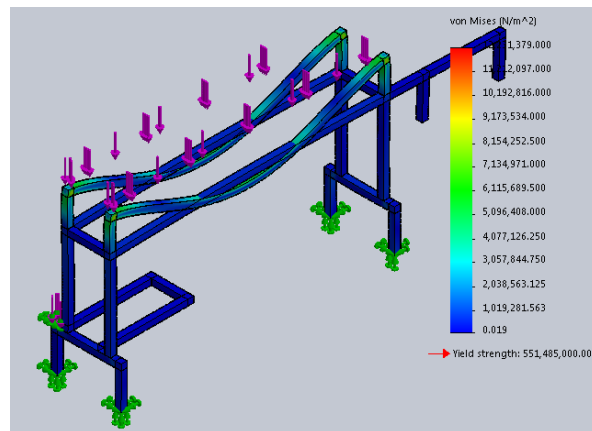
Figura 43. Caja de control



Fuente: Autores

**3.7.6 Análisis estático.** Mediante un diagrama de cargas se procede a verificar si la estructura soportará el peso de todos los elementos seleccionados para el proceso.

Figura 44. Análisis estático



Fuente: Autores

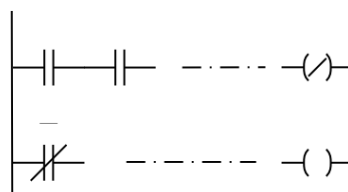
El material utilizado para construir la estructura es un perfil cuadrado de acero de 1 1/2" por 2 mm de espesor el cual tiene una resistencia de hasta 557214. 563 N/m<sup>2</sup>, por lo cual el peso de los elementos representa una carga mínima.

### 3.8 Lenguaje de programación.

El lenguaje de programación LADDER (KOP) se utiliza en el software STEP 7-Micro/WIN, se denomina también lenguaje de contactos o en escalera. Está basado en esquemas eléctricos de control.

La estructura básica del lenguaje LADDER consiste en ubicar los contactos a la izquierda y las bobinas y otros elementos a la derecha, ya que el orden de ejecución es de arriba hacia abajo, y de izquierda a derecha.

Figura 45. Estructura LADDER

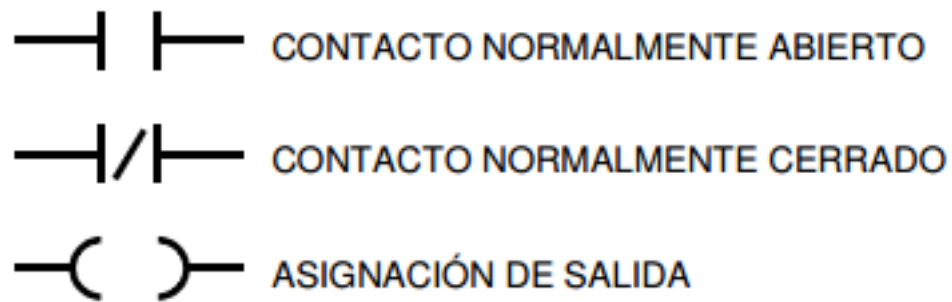


Fuente: <http://goo.gl/1sVxa9>

La línea de la izquierda representa el terminal de alimentación, mientras que la línea de la derecha representa el terminal de masa.

Los símbolos básicos de la programación LADDER se representan en la siguiente figura:

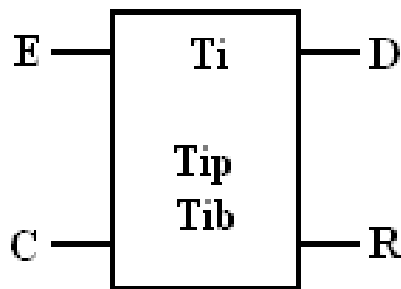
Figura 46. Símbolos básicos LADDER



Fuente: <http://goo.gl/BvpdXO>

Las funciones lógicas más complejas como temporizadores o contadores se representan en formato de bloques.

Figura 47. Temporizador



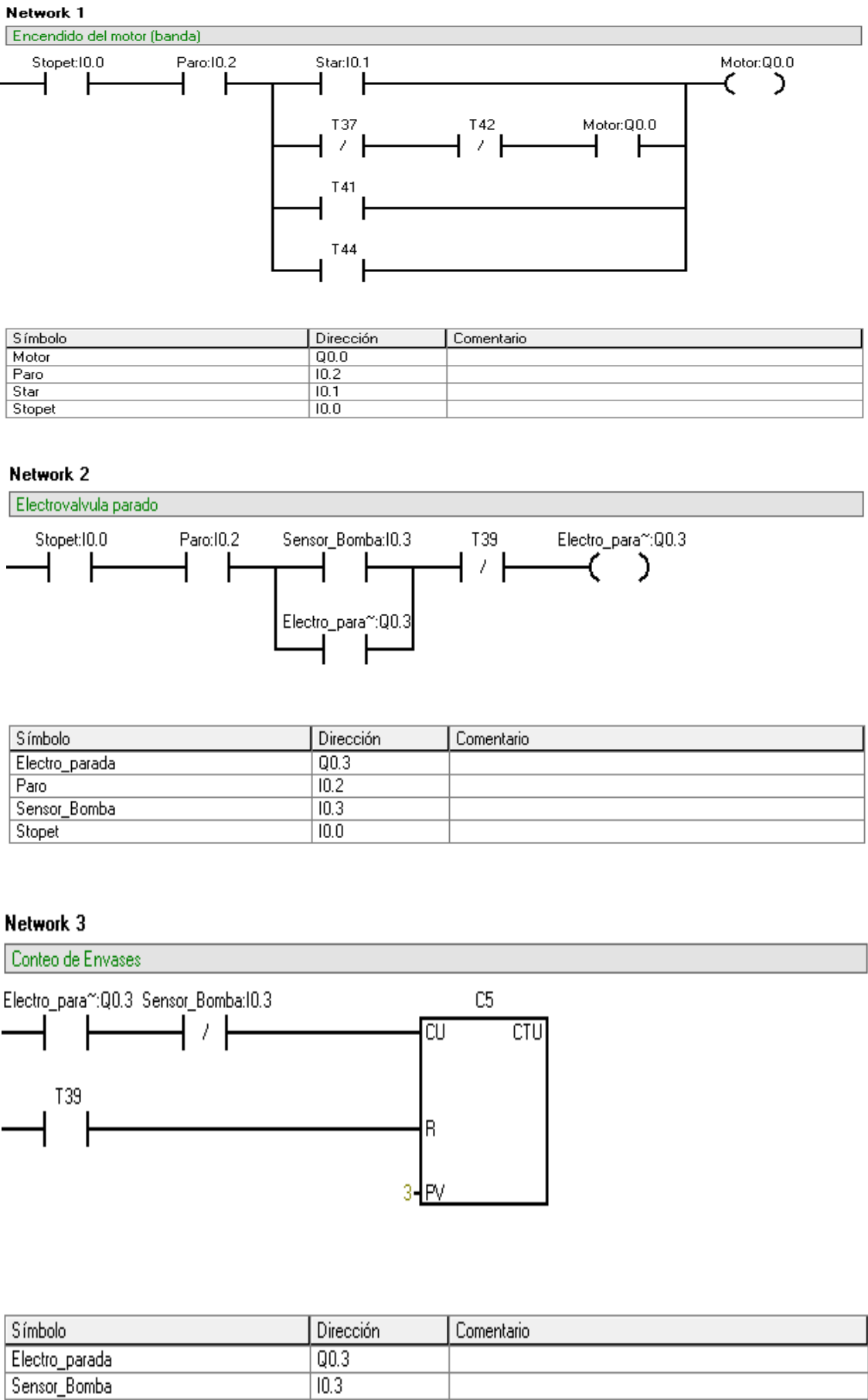
Fuente: <http://goo.gl/XHjc9p>

El conjunto de instrucciones gráficas de la programación LADDER representan:

- Las entradas y salidas físicas del PLC, como sensores, relés, luces piloto, electroválvulas o pulsadores.
- Las funciones internas del PLC como temporizadores o contadores.
- Operaciones matemáticas (suma, AND, XOR)
- Variables internas del PLC (bits, palabras)

3.9      Diseño del circuito de control

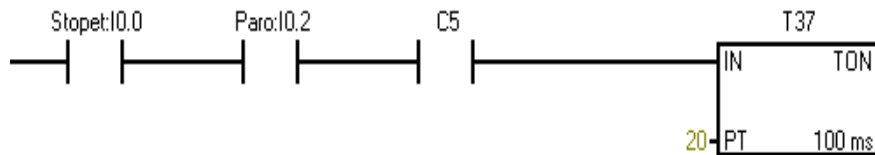
Figura 48. Circuito LADDER





#### Network 4

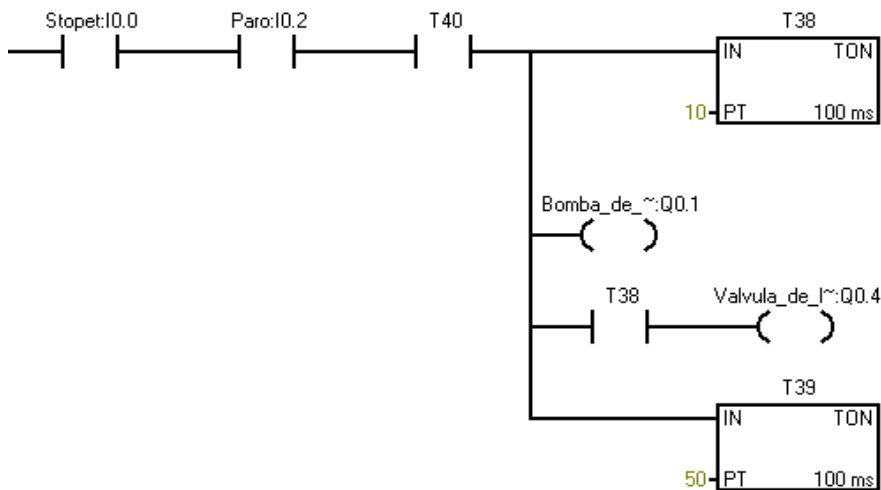
Tiempo después del conteo



Símbolo	Dirección	Comentario
Paro	I0.2	
Stopet	I0.0	

#### Network 5

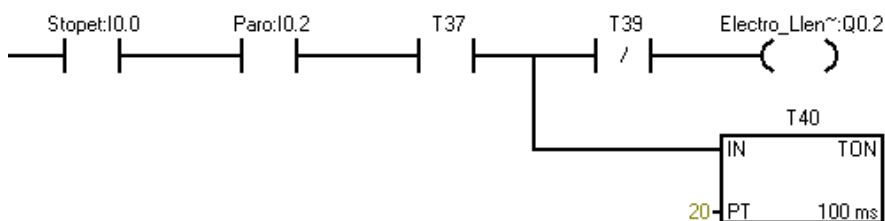
Activado de la Bomba de agua y válvulas de llenado



Símbolo	Dirección	Comentario
Bomba_de_agua	Q0.1	
Paro	I0.2	
Stopet	I0.0	
Valvula_de_llenado	Q0.4	

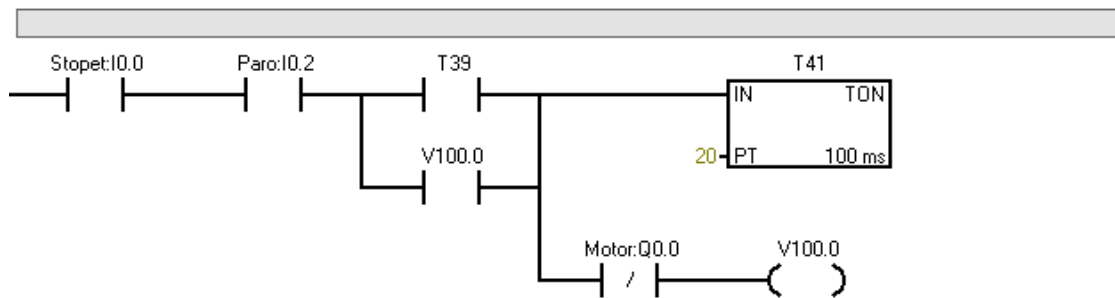
#### Network 6

Activado del cilindro de llenado



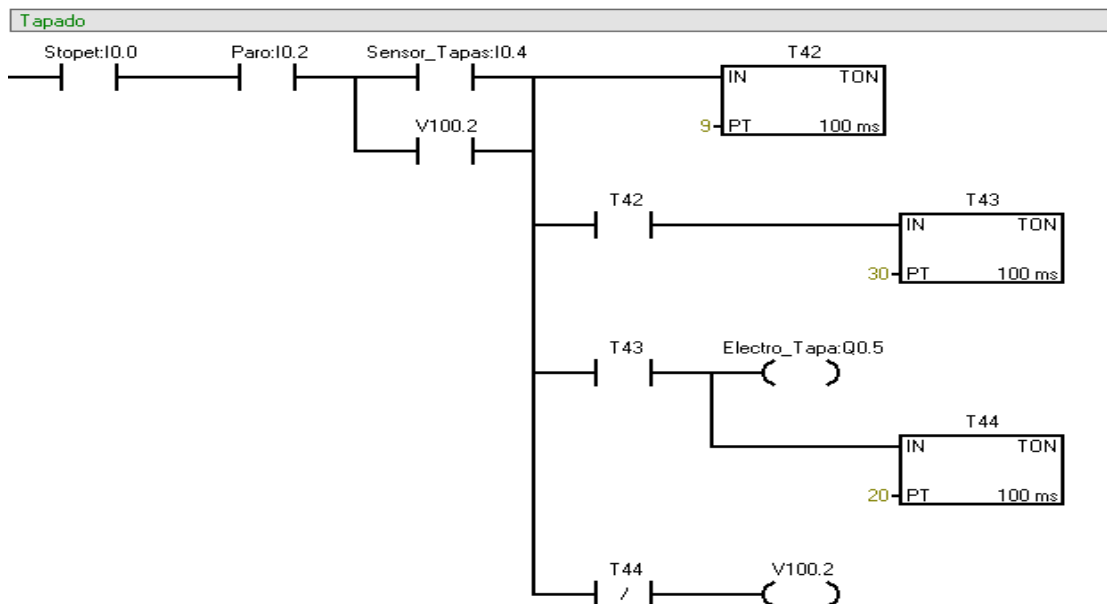
Símbolo	Dirección	Comentario
Electro_Llenado	Q0.2	
Paro	I0.2	
Stopet	I0.0	

### Network 7



Símbolo	Dirección	Comentario
Motor	Q0.0	
Paro	I0.2	
Stopet	I0.0	

### Network 8



Símbolo	Dirección	Comentario
Electro_Tapa	Q0.5	
Paro	I0.2	
Sensor_Tapas	I0.4	
Stopet	I0.0	

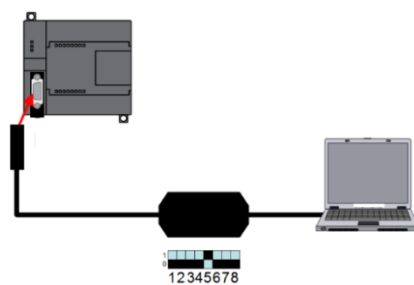
Fuente: Autores

## 3.10 Comunicación entre el PLC y ordenador

Para cargar el programa desde el computador hacia el PLC S7-200 se utiliza una comunicación mediante el CABLE MULTIMAESTRO PPI.

PPI es un protocolo maestro-esclavo, mediante el cual los maestros envían señales a los esclavos y estos responden. El cable multimaestro PPI actúa como maestro y utiliza la dirección de red del STEP 7-Micro/WIN para el envío de información, mientras que el PLC S7-200 actúa como esclavo.

Figura 49. Red PPI multimaestro



Fuente: Autores

Tabla 16. Asignación de pines del cable multimaestro

Enchufe	N° de pin	Señal PROFIBUS	Puerto 0/ Puerto 1
	1	Blindaje	Tierra
	2	24 V Hilo de retorno	Hilo lógico
	3	Señal B RS-485	Señal B RS-485
	4	Petición de transmitir	RTS (TTL)
	5	5 V Hilo de retorno	Hilo lógico
	6	+5 V	+5 V, 100Ω resistor en serie
	7	+24 V	+24 V
	8	Señal A RS-485	Señal A RS-485
	9	No aplicable	Selección protocolo de 10 bits (entrada)
	Carcasa del enchufe	Blindaje	Tierra

Fuente: <http://goo.gl/VDz6qi>

## CAPÍTULO IV

### 4. MANUAL DE OPERACIÓN, DE MANTENIMIENTO Y GUIAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

#### 4.1 Manual de operación.

El manual de operación sin duda es una de las herramientas más importantes para garantizar la seguridad del operario y de las demás personas en el lugar de trabajo.

En el presente manual se detalla el procedimiento de mantenimiento y correcta utilización del módulo didáctico para el proceso de envasado.

##### 4.1.1 *Indicaciones generales.*

- Se debe realizar siempre una inducción acerca del funcionamiento del módulo.
- Respetar las normas de seguridad que se deben tomar en un laboratorio.
- La persona que va a poner en funcionamiento el módulo debe tener conocimientos básicos de automatización de procesos.

##### 4.1.2 *Operación de elementos mecánicos.*

- Ante todo se debe comprobar que las partes móviles tengan la protección adecuada, principalmente la transmisión de cadena y rodamientos ya que aquí existe alto riesgo de atrapamiento.
- Durante el funcionamiento del módulo no debemos acercar las manos o cualquier objeto a las partes móviles ya que podría ser causa de accidentes y alteración en el proceso.

Tabla 17. Asignación de entradas y salidas

<b>Asignación de entradas y salidas</b>			
<b>Descripción (E/S)</b>	<b>Variable</b>	<b>Nombre</b>	<b>Detalle</b>
Entrada	I <sub>0</sub>	Stop	Pulsador de emergencia
Entrada	I <sub>1</sub>	Star	Pulsador de Inicio del proceso
Entrada	I <sub>2</sub>	Paro	Pulsador de apagado
Entrada	I <sub>3</sub>	Sensor Bomba	Sensor de conteo de envases y proceso de llenado
Entrada	I <sub>4</sub>	Sensor Tapado	Sensor para el proceso de tapado
Salida	Q <sub>0</sub>	Motor	Motor eléctrico para el movimiento de la banda transportadora
Salida	Q <sub>1</sub>	Bomba de agua	Bomba para el llenado de agua
Salida	Q <sub>2</sub>	Electro Llenado	Acciona la electroválvula del cilindro para el proceso de llenado
Salida	Q <sub>3</sub>	Electro Parada	Acciona la electroválvula del cilindro para el proceso de paro de envases
Salida	Q <sub>4</sub>	Válvula de llenado	Activan las válvulas de paso del fluido en el proceso de llenado
Salida	Q <sub>5</sub>	Electro Tapado	Acciona la electroválvula del cilindro para el proceso de tapado

Fuente: Autores

#### 4.1.3 Operación de elementos eléctricos.

- Antes de poner el módulo en funcionamiento se debe revisar que todos los elementos estén conectados correctamente.
- Las electroválvulas 5/2 funcionan a 110 VAC.
- Las válvulas de paso de fluido funcionan a 110 VAC.
- El motor y la bomba de agua funcionan a 110 VAC.
- Los sensores funcionan a 24 VDC.

- Los pulsadores funcionan a 24 VDC.
- El PLC S7-200 se conecta directamente a una fuente de 110 VAC.
- Los elementos que funcionan con 24 VDC se conectan directamente a las salidas del PLC ya que estas cuentan con una fuente de dicho voltaje.

#### **4.1.4**    *Operación de elementos neumáticos.*

- Los conductos de aire deben estar conectados correctamente para evitar fugas de y caídas de presión.
- La presión de trabajo es de 6 bares la cual es regulada por el filtro regulador (FR), por seguridad nunca se debe exceder esta presión.
- Los conductos de aire deben estar conectados de manera que no existan dobleces que obstaculicen el paso de aire.

#### **4.1.5**    *Descripción del proceso.*

- 1) Al dar un pulso en el pulsador STAR se enciende el motor que está conectado a la banda transportadora y da inicio al proceso.
- 2) La banda transportadora mueve los envases que se encuentran sobre la misma. Los envases pasan por un sensor de proximidad el cual está programado para contar 3 elementos.
- 3) Al haber detectado el primer envase se activa la salida Q3 para detener los envases a la altura de las válvulas de paso.
- 4) Después de que el sensor detecte los 3 envases el motor de la banda se detiene y se activa la salida Q2 para acercar las válvulas de paso a los envases.
- 5) Se activan las salidas Q1 y Q4 para proceder a llenar los envases.
- 6) Una vez llenados los envases con el volumen de fluido necesario se desactivan las señales y se pone en funcionamiento el motor de la banda transportadora.
- 7) Una vez llenos los envases pasan por un dispensador de tapas las cuales son colocadas mediante gravedad.

- 8) Los envases pasan por un segundo sensor de proximidad el cual al detectar los mismos desactiva el motor de la banda y después de un tiempo activa las salida Q5 para proceder a sellar las tapas a presión en los envases.
- 9) Una vez terminado el proceso, los envases pueden ser retirados manualmente.

**Recomendación:** Durante el proceso no se debe acercar objetos a los sensores de proximidad ya que se puede alterar el mismo.

## **4.2 Plan de mantenimiento**

**4.2.1 Justificación.** Sin un adecuado mantenimiento el módulo interrumpiría su operación, alterando y fallando en el proceso. El plan de mantenimiento aumentará la vida útil del módulo, conservando así sus elementos e instalaciones de tal manera que funcionen en óptimas condiciones minimizando o mejor aun evitando las fallas durante largos periodos de trabajo.

### **4.2.2 Objetivos**

#### **4.2.2.1 Objetivo general:**

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo del módulo de llenado de envases.

#### **4.2.2.2 Objetivos específicos:**

Elaborar una ficha de datos técnicos para cada elemento.

Determinar la frecuencia de mantenimiento de cada elemento.

**4.2.3 Introducción.** El mantenimiento está destinado a la conservación del módulo didáctico mediante realización de revisión y reparación de sus elementos que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad.

El objetivo del mantenimiento es evitar las consecuencias de los fallos del módulo antes de que estas ocurran. Entre las tareas de mantenimiento preventivo están el cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, entre otros.

**4.2.4 Ficha técnica.** Contiene la descripción de las características del módulo de manera detallada de los elementos más importantes.

Tabla 18. Ficha técnica

<b>Ficha técnica</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Características</b>	
Módulo	Altura	1.005 m
	Longitud	2.39 m
	Ancho	0.425 m
Banda Transportadora	Longitud	4 m
	Ancho	0.20 m
	Material	Poliéster PVC
	Velocidad	0.1 m/s
Motor Eléctrico	Voltaje	110 VAC
	Amperaje	0.87 A
	Potencia	26 Watts
	RPM	3400
	RPM (en el eje)	90
	Hz	60
	Sistema	Monofásico
	Marca	Japan
Bomba de Agua	Voltaje	110 VAC
	Potencia	370 Watts
	RPM	3450
	Hz	60
	Caudal	28 L/min
	Sistema	Monofásico
	Marca	Hyundai

Fuente: Autores



**4.3.5 Frecuencia de mantenimiento.** Se debe tomar en cuenta que para realizar el mantenimiento del módulo debemos desconectar la fuente de alimentación tanto eléctrica como neumática antes de realizar cualquier tarea. Además para todos los procedimientos se debe utilizar los EPP adecuados y seguir las normas de seguridad.

Tabla 19. Frecuencia de mantenimiento

<b>Frecuencia de mantenimiento</b>		
<b>Tarea</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Frecuencia</b>
Inspección del motor eléctrico y la bomba de agua.	Evaluación externa de los equipos, verificando el aspecto de sus partes visibles, como aspecto general, golpes, corrosión, polvo, desgaste de piezas, conexiones, soportes.	200 horas
Inspección de la caja de control.	Comprobar si existe continuidad en cada elemento.  Revisar que las conexiones se encuentren en buen estado.  Limpiar con cuidado de no desconectar los cables.	100 horas
Inspección de la banda transportadora.	Revisar que no exista humedad en la banda y limpiarla en caso de que exista.  Verificar que la coccadura (grapas) no se encuentre deteriorada.	Después de cada jornada de trabajo
Inspección de chumaceras.	Desmontar los elementos, limpiar y engrasar.	150 horas
Inspección del sistema de transmisión.	Limpiar la cadena y las catalinas, verificar que estén alineadas y engrasar.	200 horas
Limpieza del FR.	Drenar el filtro retirando la perilla de drenaje, verificar que se evacue toda la suciedad y volver a ubicar la perilla.	100 horas
Inspección de	Limpiar las entradas y salidas de aire.	150 horas

electroválvulas.	Verificar que las conexiones se encuentren en buen estado.	
Inspección de válvulas de paso de agua.	Desmontar las válvulas y limpiarlas.	100 horas
Inspección de las mangueras de aire y agua.	Verificar que no existan dobleces y/o fugas.	300 horas

Fuente: Autores

En caso de que cualquier elemento del módulo se encuentre deteriorado, ya sea este eléctrico, neumático o mecánico, debe ser reemplazado inmediatamente.

#### 4.3 Guía de laboratorio.



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **GUÍA DE LABORATORIO**

### **AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS**

#### **PRÁCTICA N° 1**

#### **DESARROLLO DEL PROCESO DE LLENADO DE ENVASES**

#### **1. DATOS GENERALES**

Nombre y Apellido:

.....

.....

Código:

.....

.....

Fecha de realización: .....

Fecha de entrega: .....

#### **2. OBJETIVOS**

## 2.1 Objetivo general

Desarrollar el proceso de llenado de envases.

## 2.2 Objetivos específicos.

- Conocer el funcionamiento del módulo.
- Realizar diferentes programaciones en el PLC.

## 3. MARCO TEÓRICO

## 4. PROCEDIMIENTO

Tabla 20. Asignación de entradas y salidas

Asignación de entradas y salidas			
Descripción (E/S)	Variable	Nombre	Detalle
Entrada	I <sub>0</sub>	Stop	Pulsador de emergencia
Entrada	I <sub>1</sub>	Star	Pulsador de Inicio del proceso
Entrada	I <sub>2</sub>	Paro	Pulsador de apagado
Entrada	I <sub>3</sub>	Sensor Bomba	Sensor de conteo de envases y proceso de llenado
Entrada	I <sub>4</sub>	Sensor Tapado	Sensor para el proceso de tapado
Salida	Q <sub>0</sub>	Motor	Motor eléctrico para el movimiento de la banda transportadora
Salida	Q <sub>1</sub>	Bomba de agua	Bomba para el llenado de agua

Salida	Q <sub>2</sub>	Electro Llenado	Acciona la electroválvula del cilindro para el proceso de llenado
Salida	Q <sub>3</sub>	Electro Parada	Acciona la electroválvula del cilindro para el proceso de parado de envases
Salida	Q <sub>4</sub>	Válvula de llenado	Activan las válvulas de paso del fluido en el proceso de llenado
Salida	Q <sub>5</sub>	Electro Tapado	Acciona la electroválvula del cilindro para el proceso de tapado

Fuente: Autores

- Revisar las conexiones eléctricas y neumáticas.
- Leer el manual de operación.
- Realizar programaciones con diferentes secuencias de llenado.

## 5. MATERIALES

- Módulo didáctico
- Computador con software STEP 7-Micro/WIN
- Cable multimaestro PPI
- Compresor de aire

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 7. BIBLIOGRAFIA

## 8. ANEXOS

## CAPÍTULO V

### 1. COSTOS

#### 5.1 Costos directos

Tabla 21. Costos directos

N°	Descripción	Cantidad	Costo (Dólares)
1	Banda	1	72
2	Rodillos	2	124
3	Chumaceras	4	29
4	Tubo cuadrado 1" 1/2 x 2mm	3	50
5	Motor	1	80
6	Catalinas	2	6
7	Sensores capacitivos	3	43
8	Válvulas de paso	3	24
9	Electroválvulas 5/2	3	159
10	Manguera de aire #6	8 metros	12.9
11	Racores 1/4"	22	40.2
12	Silenciadores 1/4"	3	7.1
13	Cable flexible #14	20 metros	18
14	Abrazaderas	8	6
15	Tornillos 7/16 con tuerca y arandela	16	5
16	Tornillos auto roscantes	30	15
17	Manguera de agua	6 metros	8.45
18	Luz piloto LED	2	2.65
19	Borneras	24	8
20	Pulsador monoblock	2	2.9
21	Fondo	1 litro	5
22	Tinner	2 litros	5
23	Pintura azul 1lt	2 litros	6.5
24	Bomba de agua	1	35
25	Relé CSC8	2	6.6
26	Base para relé	2	4.8

27	Adaptador flex 1/2"	1	0.2
28	Neplo 1"	2	0.85
29	Bushing 3/4" a 1/2"	2	0.2
30	Bushing 1" a 1/2"	2	1.12
31	Universal 1"	2	4.3
32	Terminales	50	5
33	PLC	1	250
34	Plancha inoxidable 1mm	1	60
35	Eje de acero inoxidable 1/4" x 10m	1	10
36	Tubo acero inoxidable 1" 1/2" x 6m	1	46
37	Fusibles	2	4
38	Pulsador emergencia	1	2.5
39	Cilindro neumático Ø 16mm x 100mm	1	38
40	Cilindro neumático Ø 16mm x 60mm	1	35
41	Filtro regulador	1	53
42	Cilindro neumático Ø 30mm x 60mm	1	11
43	Electrodos	2 libras	15
44	Cadena	1	5
45	Pletina	1	5.5
46	Eje de acero de transmisión Ø 2"	1	18
47	Eje de acero cromado Ø 16mm	1	2
48	Riel DIN	1	3
49	Regleta fase/neutro	4	8
50	Válvula check	1	37
	<b>TOTAL</b>		<b>1390.77</b>

Fuente: Autores

## 5.2 Costos indirectos

Tabla 22. Costos indirectos

N°	Descripción	Cantidad	Costo
1	Amarras	100	2
2	Tabla MDP	1	5
3	Taller	1	150
4	Caja metálica	1	20
5	Cartel	1	10
6	Etiquetas	6	5
7	Transporte		50
8	Lija	8	2
9	Guaípe	1 libra	1
	<b>TOTAL</b>		<b>245</b>

Fuente: Autores

## 1.3 Costos totales

Tabla 23. Costos totales

N°	Descripción	Cantidad	Costo
1	Costos directos	1	1390.77
2	Costos indirectos	1	245
	<b>TOTAL</b>		<b>1635.77</b>

Fuente: Autores



## **CAPITULO VI**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **6.1 Conclusiones.**

Se implementó el módulo didáctico en el laboratorio de automatización de la Escuela de Ingeniería Industrial que sirve para la formación profesional de los estudiantes.

Se seleccionó el sistema lineal y el tapado mediante cilindro neumático como las alternativas funcionales idóneas en la elaboración del módulo para el proceso de llenado de líquidos en envases.

Se seleccionaron los elementos mecánicos, neumáticos y eléctricos adecuados en base a condiciones de funcionamiento, costo, características técnicas para cada uno de los procesos.

Se desarrolló la programación en el PLC S7-200 de una manera lógica y sencilla utilizando el lenguaje LADDER mediante el software STEP 7-Micro/WIN para el control de los elementos y dispositivos del módulo.

Se elaboraron los manuales tanto de mantenimiento como de operación del módulo con las indicaciones de manejo, funcionamiento y seguridad para cada uno de los elementos utilizados para el proceso de llenado de envases.

#### **6.2 Recomendaciones.**

Leer los manuales de operación y mantenimiento antes de realizar prácticas en el módulo para evitar daños en los elementos y sobre todo evitar accidentes en el laboratorio.

La persona a cargo de las prácticas debe efectuar una inducción acerca del funcionamiento del módulo y normas básicas de seguridad.

No se deben acercar objetos a los sensores durante el funcionamiento del módulo ya que esto podría alterar el proceso o causar accidentes.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGUINAGA, Álvaro. 2011.** *Autómatas Programables*. Quito : s.n., 2011.

**BIANCO, Carina. 2006.** *Controlador Lógico Programable Simatic S7 200*. Cuyo : s.n., 2006.

**BOLZONI, Manuel. 2010.** *Sistemas de llenado para el sector de bebidas*. Parma : OCME, 2010.

**GENIA. 2010.** *Entornos Integrados de Automatización*. Oviedo : s.n., 2010.

**SIEMENS. 2008.** *Simatic Controller*. NÜRNBERG : s.n., 2008.

**SIMATIC. 2008.** *Manual del sistema de automatización*. JOHNSON CITY TN : s.n., 2008.

**Wikipedia. 2014.** Relé. [En línea] 2014. [Citado el: 11 de 10 de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>.